TEHNOLOGII CALITATE MAȘINI MATERIALE

6

PROGRES TEHNIC

- **TEHNOLOGII DE MARE EFICIENȚĂ**

  Modernizarea formării-miezuirii sub vid
  Turnarea matrițelor pentru deformare la cald
  Așchierea aliajelor de zirconiu
  Viteza electrolitului la prelucrarea electrochimică
  Turnarea în forme criogene

- **MODERNIZAREA FABRICAȚIEI ȘI PRODUSELOR**

  Adaptabilitatea sistemelor de fabricație moderne
  Din realizările întreprinderilor și institutelor

- **MAȘINI, UTILAJE ȘI SDV-URI. PROIECTARE, CONSTRUCȚIE, TIPIZARE**

  Cubiloul cu plasmă și fontele de înaltă calitate
  Sisteme flexibile de prelucrare prin așchiere
  Rigiditatea statică a mașinilor-unelte
  Mecanisme cu cruce de malta
  Întreținerea și repararea flexibilă a utilajelor

- **MATERIALE. UTILIZARE, REFOLOSIRE, INLOCUITORI**

  Progrese în materiale și tehnologii avansate
  Ceramica în materiale compozite
  Valorificarea carburii de siliciu metalurgice

- **INGINERIA CALITĂȚII. FIABILITATE**

  Asigurarea calității la firmele de vîrf
  Încercarea fiabilității produselor

- **ACTUALITĂȚI TEHNICO-ȘTIINȚIFICE**

TM
CM

Scanned with OKEN Scanner

TEHNOLOGII CALITATE MAȘINI MATERIALE

6

EDITURA TEHNICĂ
București, 1989

Scanned with OKEN Scanner

Autorii materialelor publicate in acest volum:

VASILE MORARU
ȘTEFĂNUȚĂ ENACHE
DUMITRU CATRINA
ALEXANDRU NICA
GHEORGHE MANEA
CONSTANTIN COSNEANU
LAURENȚIU NĂSTAC
VICTORIA PÎRVU
TRAIAN AURITE
ADRIAN GHIONEA
ACHIM MUNTEAN
DAN BRÎNDAȘU
VALERIU DEAC
DAN CERNUȘCĂ
GEORGETA CUCULEANU
ANDREI BĂNESCU
LAURENTIE SOFRONI
CONSTANTIN BRATU
CONSTANTIN CERNAT
AUREL OPREAN
NICOLAE PREDINCEA
IULIAN RIPOȘAN
IOAN PETRUȘ
VIOREL PINTEA
SIMION COCOLAȘ
ION CHIRA
ȘTEFAN CRĂCIUN
GHEORGHE SIMIONESCU
VASILE BEJAN
D. F. KALINOVICI
L. I. KUZNEȚOVA
E. T. DENICENKO
L. BIȚOK

Colectivul de redacție:

VASILE BUZATU (red. coord.)
MARIA ANTOINETTE IONESCU
PAUL IORDĂNESCU
NICOLAE VOICU

Tehnoredactor: MARIA TRĂSNEA
Coperta: SIMONA DUMITRESCU

Bun de tipar: 11.12.1989.
Coli tipar: 13,25.
C.Z. 621.7+9 : 9 : 62–1 : 66
ISBN 973-31-0191-5

Tiparul executat sub cda. 371/1989, la Întreprinderea Poligrafică „Crișana", Oradea, str. Leontin Sălăjan nr. 105.
Republica Socialistă România

Scanned with OKEN Scanner

Cuprins

I. Tehnologii industriale de mare eficienţă economică

1. Modernizarea proceselor de formare-miezuire sub vid (Constantin Cosneanu, Laurenţiu Năstac, Victoria Pîrvu) 6
2. Tehnologii de obţinere prin turnare a matriţelor pentru deformare la cald a aliajelor (Laurentie Sofroni, Constantin Bratu, Constantin Cernat) 14
3. Turnarea pieselor în forme criogene (Simion Cocolaş, Ion Chira, Ştefan Crăciun, Gheorghe Simionescu) 29
4. Aşchierea aliajelor pe bază de zirconiu (Achim Muntean, Dan Brîndaşu, Caleriu Deac, Dan Cernuşcă) 45
5. Calculul vitezei de curgere a electrolitului şi a concentraţiei hidrogenului la prelucrarea electrochimică (Georgeta Cuculeanu) 52

II. Modernizarea fabricaţiei şi produselor

6. Adaptabilitatea — principala caracteristică a sistemelor de fabricaţie moderne (Gheorghe Manea) 60
7. Din realizările întreprinderilor şi institutelor de cercetare ştiinţifică şi inginerie tehnologică 65

III. Maşini, utilaje şi SDV-uri. Proiectare, construcţie, tipizare

8. Cubiloul cu plasmă şi producerea fontelor de înaltă calitate din materiale recuperabile (Iulian Ripoşan) 74
9. Sisteme flexibile de prelucrare prin aşchiere (Vasile Moraru, Dumitru Catrina, Ştefănuţă Enache) 95
10. Rigiditatea statică a maşinilor-unelte (Aurel Oprean, Nicolae Predincea) 107
11. Mecanisme cu cruce de Malta. Elemente de proiectare (Traian Aurite, Nicolae Predincea, Adrian Ghionea) 129
12. Organizarea întreţinerii şi reparării flexibile a utilajelor (Vasile Bejan) 146

Scanned with OKEN Scanner

IV. Materiale. Utilizare, refolosire, înlocuitori

13. Progrese în domeniul materialelor şi tehnologiilor avansate. Durabilitate, fiabilitate, asigurarea calităţii (Alexandru Nica) 156
14. Ceramica în materialele compozite (D. F. Kalinovici, L. I. Kuznețova, E. T. Denicenko) 166
15. Carbura de siliciu metalurgică valorificată la elaborarea fontelor în cuptoare electrice şi în cubilou (Iulian Ripoşan, Ioan Petruş, Viorel Pintea) 173

V. Ingineria calităţii. Fiabilitate

16. Asigurarea calităţii la firmele de vîrf din S.U.A. şi Japonia (L. Biţok) 194
17. Programe de încercare a fiabilităţii produselor (Andrei Bănescu) . . 200

VI. Actualităţi şi informaţii tehnico-ştiinţifice

18. A 11-a Conferinţă Republicană de Turnătorie (Constantin Cosneanu) 206
19. Scurte informaţii tehnice 211

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

I

TEHNOLOGII INDUSTRIALE DE MARE EFICIENȚĂ ECONOMICĂ

1.
Modernizarea proceselor de formare-miezuire sub vid

Dr. ing. *Constantin Cosneanu*
Ing. *Laurențiu Năstac*
Chim. *Victoria Pirvu*
Institutul de Cercetare Științifică, Inginerie Tehnologică și Proiectare Sectoare Calde Metalurgice
I.C.S.I.T.P.S.C.M.

Rolul crescînd al folosirii vidului în procesele de formare-miezuire din turnătorii s-a reliefat prin mai multe procedee, care au început să fie utilizate cu mult succes în fabricația industrială de piese turnate.

Experimentările efectuate în U.R.S.S. [1], Anglia [2], precum și în alte țări au permis sublinierea posibilităților de eliminare prin depresiune a umidității din amestecurile de formare liate cu silicat de sodiu și asigurarea prin aceasta a întăririi peliculelor de liant.

În cadrul *procedeului* cunoscut sub numele de *IQU* [3] se aplică amestecului (nisip+catalizator+rășină) aflat în cutia de miez o depresiune de circa 30 mm Hg, timp de cîteva secunde, care, datorită vidului și temperaturii de circa 80—100°C, determină pierderea stabilității catalizatorului și eliberarea din acesta a agentului chimic de întărire ce reacționează brusc cu rășina, producînd un polimer termoîntăritor.

Folosirea cu succes în mai multe țări industrializate a procedeului japonez, cunoscut sub denumirea de procedeul „V", arată că în viitorul apropiat folosirea vidului în procesele de formare-miezuire din turnătorii va deveni o necesitate.

Cercetări mai recente efectuate în Japonia [4] au permis stabilirea unui procedeu denumit *VRH*, care se aplică cu succes în peste 20 turnătorii, permițînd reducerea importantă a consumului de silicat de sodiu și de CO_2 gazos, cu toate avantajele tehnico-economice ce rezultă din aceasta.

După cum se știe, cunoscutul procedeu cu silicat de sodiu—CO_2 se diferențiază de celelalte procedee cold-box prin două aspecte pozitive. Primul aspect este legat de faptul că se bazează pe folosirea unor substanțe anorganice, iar cel de al doilea se referă la lipsa de agresivitate a gazului CO_2, care este relativ neiritant și deci el nu trebuie colectat și eliminat din zona de lucru, așa cum se întîmplă cu gazele rezultate din sistemele de liere organice. Dezavantajele care se impută procedeului pot fi rezumate astfel:

— dezbatere nesatisfăcătoare, deși prin diferite adaosuri solide (pulverulente) sau lichide se poate ajunge la un control satisfăcător al procesului pînă la o anumită temperatură;

— nisipul liat cu silicat de sodiu suferă o schimbare de volum (dilatare) pronunțată la temperatura de turnare a aliajelor feroase (fig. 1.1);

— durata de folosire a miezurilor este necorespunzătoare, datorită supragazării sau insuficientei gazări cu CO_2;

Scanned with OKEN Scanner

— întărirea insuficientă a miezurilor la temperaturi ale mediului sub 10°C (fig. 1.2);

— la turnarea pieselor din fontă cenușie se constată tendința de apariție a defectelor de penetrație;

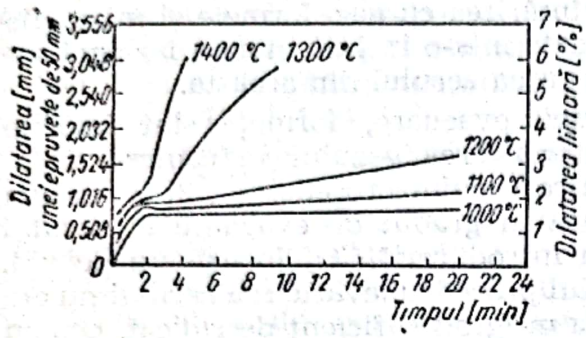


Fig. 1.1. Dilatarea nisipului liat cu silicat de sodiu în funcție de timp, pentru diferite temperaturi.

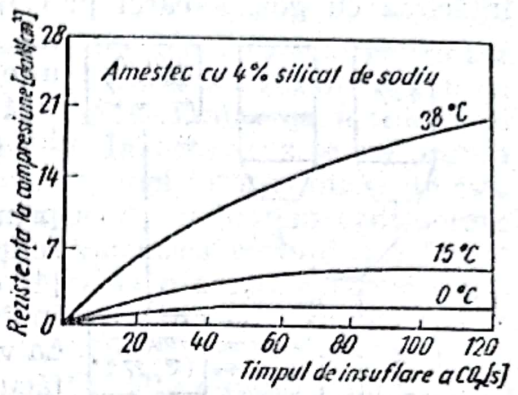


Fig. 1.2. Rezistența la compresiune a amestecului cu conținut de 4% silicat de sodiu, în funcție de timpul de gazare cu CO_2.

— la folosirea unor proporții prea mari de nisip regenerat are loc schimbarea bruscă a raportului silicat—sodă, care afectează durata de întrebuințare a amestecului;

— necesitatea folosirii unor proporții ridicate de silicat în sistem determină reducerea importantă a fluidității amestecului și slaba sa capacitate de a fi insuflat în procesul de miezuire, precum și tendința sporită de formare a defectelor de tipul golurilor generate de gaze;

— aparenta imposibilitate de a putea utiliza vopselele refractare pe bază de apă la protecția miezurilor și formelor.

Rezultatele mai recente obținute de firma FOSECO [5] cu produsele SOLOSIL 123 și 433 arată că acești lianți întrunesc condițiile tehnologice minime pentru fabricarea automată a miezurilor pe mașini de suflare sau împușcare. Realizările arată cu prisosință că lumea a devenit mai atentă la aspectele de nocivitate pe care le prezintă majoritatea lianților organici și că silicatul de sodiu oferă mari avantaje de preț de cost, ecologice și posibilități ușoare de aprovizionare.

Ținînd seama de faptul că în R. S. România sînt asigurate condițiile de aprovizionare cu materiale a turnătoriilor pentru aplicarea procedeului de formare-miezuire cu silicat-CO_2 se impune asigurarea creșterii tehnicității în sectorul de preparare și folosire a acestuia prin dotarea cu utilaje și AMC-uri corespunzătoare.

Pentru aplicarea corectă în turnătorie a procedeului de liere cu silicat de sodiu-CO_2 se impune respectarea cu strictețe a temperaturii componenților și mediului ambiant, precum și a dozajului precis al nisipurilor, silicatului, adaosurilor și CO_2-ului.

În fig. 1.3 se prezintă o schemă tehnologică de principiu pentru aplicarea corectă și în condiții tehnico-economice avantajoase a procedeului de fabricație Cold-Box tip silicat-CO_2 sau silicat-esteri. Numai în condițiile acestea se poate asigura valorificarea integrală a avantajelor pe care le oferă procedeele de liere cu silicat de sodiu: productivitate mare, consumuri reduse de silicat de Na, CO_2, esteri, nisip, lipsa toxicității, simplitatea procedeelor etc.

Scanned with OKEN Scanner

În acest context apreciem ca foarte importantă abordarea în țara noastră a procedeului de întărire a formelor și miezurilor liate cu silicat de sodiu-CO_2 în condițiile aplicării vidului (VRH).

Procedeul VRH constituie o dezvoltare a metodei de formare prin întărirea cu gaz, a cărei principală caracteristică constă în maniera de întărire a formei cu gaz. Pentru aceasta, înainte de întărirea cu gaz, formele și miezurile sînt așezate într-o incintă etanșă, iar apoi are loc evacuarea aerului din aceasta.

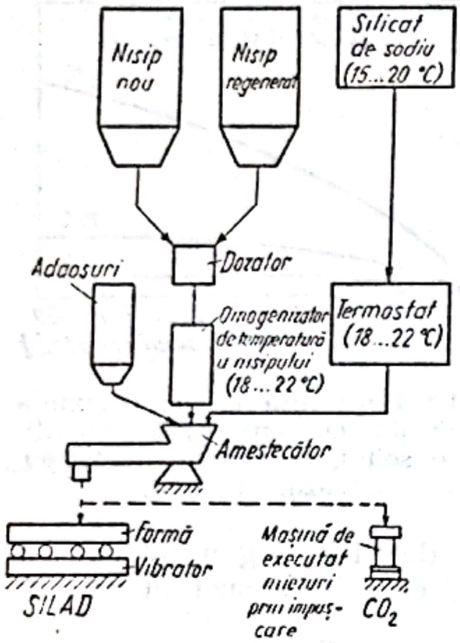


Fig. 1.3. Schema tehnologică de principiu pentru aplicarea corectă și în condiții tehnico-economice avantajoase a procedeului de fabricație Cold-Box tip silicat—CO_2 sau silicat-esteri.

După evacuare, formele sînt întărite prin introducerea gazului în cameră. Diferența între vechiul procedeu [1, 2] și cel nou [4] constă în gradul de evacuare al aerului înaintea introducerii CO_2 în camera de vid. La vechiul procedeu, evacuarea aerului nu era făcută la un grad suficient de ridicat, pentru a se produce întărirea. Acesta este un factor foarte important, deoarece numai prin asigurarea unui vid înalt poate avea loc întărirea miezurilor și formelor liate cu silicat de sodiu și CO_2. După cum știm, procedeul de întărire în condiții normale cu CO_2 este folosit pe scară largă în turnătorii, în ciuda unor dezavantaje, cum ar fi dificultățile legate de dezbatere și regenerare. Pe de altă parte, procedeul cu CO_2 are avantajele că se lucrează ușor cu el, nu dă probleme de protecție a mediului și e relativ ieftin. Procedeul nou este folosit în scopul îmbunătățirii procedeului convențional cu CO_2, prin: 1) Reducerea conținutului de silicat de la 5—6% la 3—3,5%; 2) Reducerea consumului de CO_2; 3) Îmbunătățirea dezbaterii și micșorarea aderențelor; 4) Regenerarea nisipului uzat.

Pentru realizarea acestor îmbunătățiri cel mai de dorit este ca, conținutul de silicat să se reducă atît de mult cît permite rezistența formei. Totuși, dacă silicatul este redus la niveluri scăzute, formele întărite cu CO_2 vor pierde din rezistență. Cu alte cuvinte, formele liate cu mai puțin silicat de sodiu vor fi mult mai sensibile la excesul de CO_2, cînd este vorba de rezistență. În consecință, la procedeul obișnuit cu CO_2 silicatul este folosit în amestec la niveluri relativ ridicate, de 5—6%. Pe de altă parte, cantitatea de CO_2 folosită în mod obișnuit pentru întărirea formelor este aproape aceeași ca greutate cu conținutul de liant (silicat).

Această cantitate de CO_2 este aproximativ de 10 ori mai mare decît cea teoretic necesară pentru a reacționa cu Na_2O din silicat. Deci la procedeul convențional cu CO_2, gazul este de cele mai multe ori în exces. Motivul pentru care CO_2 este dat în exces, este următorul: să considerăm cazul general în care CO_2-ul reacționează cu silicatul din amestec. În această situație, dacă nu este prezent nimic altceva decît CO_2 în spațiul dintre granulele de nisip, reacția va avea loc repede, fără nici o interferență. Dacă însă mai există aer, acesta se va acumula pe măsură ce CO_2 se consumă și deci va întîrzia reacția.

Scanned with OKEN Scanner

Acest lucru se datorește faptului că atunci cînd întărirea cu CO_2 se face în mediu cu aer, este necesar un exces de CO_2 pentru eliminarea aerului din formă. În prezentul proces, aerul este evacuat din formă prin intermediul unei pompe, de vid, înainte de întărirea cu gaz, în scopul obținerii unei întăriri eficiente.

Pentru aceasta formele sînt introduse într-o cameră etanșă pentru evacuarea prin vidare. După vidare, CO_2 este introdus în cameră pentru întărirea formelor. Scopul vidării este nu numai eliminarea aerului din formă ci și a eliminării umidității din sistem. În acest caz se va acorda o mare importanță faptului că pentru obținerea unei întăriri eficiente este necesar un grad de vidare mult mai ridicat decît cel luat în considerare pînă acum. Astfel, la procedeul VID+CO_2, evacuarea aerului din formă sub 20 torri înainte de gazare cu CO_2 conduce la o creștere remarcabilă atît a rezistenței imediate cît și a celei finale. Ca urmare, dacă formele sînt vidate sub 20 torr, ele pot fi puternic întărite cu CO_2, chiar dacă conținutul de silicat de sodiu este redus la 3%. Cu alte cuvinte, unul dintre avantajele procedeului VRH este acela că se poate reduce considerabil conținutul de silicat de sodiu. Un alt avantaj al procedeului VRH este că se poate reduce considerabil conținutul de CO_2.

În general vorbind, la un amestec obișnuit liat cu silicat, CO_2 este consumat aproape în aceeași cantitate (ca greutate) cu conținutul de liant (silicatul). Aceasta înseamnă că, consumul de CO_2 este de 0,7÷1/1 ca raport gaz/silicat. În contrast cu acest lucru, la procedeul VRH formele sînt supuse întîi vidului și apoi sînt întărite prin admisie de CO_2 pentru un timp scurt. Astfel, consumul de CO_2 poate fi substanțial redus.

În general, presiunea de vapori a silicatului de sodiu folosit ca liant este de 20 mm Hg la temperatura camerei.

În tabelul 1.1 este prezentată variația tensiunii de vapori a apei în funcție de temperatură [7].

Tabelul 1.1. **Tensiunea de vapori a apei în funcție de temperatură**

Tensiunea de vapori a apei torr	760	355,1	149,2	55,1	31,1	17,5	9,2	4,68	2,15
Temperatura °C	100	80	60	40	30	20	10	0	—10

Deci, dacă formele liate cu silicat de sodiu sînt supuse vidului, sub 20 torr, va avea loc deshidratarea silicatului. Acest lucru face ca forma să se întărească. De exemplu, cînd formele sînt supuse vidului sub 20 torr timp de 3 min, ele vor fi aproape complet întărite. Cu cît vidul este mai înalt (~1 torr) cu atît viteza de evaporare a umidității din sistem va fi mai mare, iar timpul de menținere la vid va fi mai scurt. Prin urmare, înseamnă că deshidratarea este unul din motivele pentru care consumul de CO_2 se reduce.

Așa cum s-a arătat mai sus, la procedeul VRH nu este necesar să se insufle CO_2 gazos în exces, pentru evacuarea aerului din forme. În plus, întărirea este completată instantaneu doar prin introducerea CO_2-ului gazos în cameră, pînă ce vidul este redus la aproximativ 400—600 torr.

Ca urmare, consumul de CO_2 nu este proporțional cu conținutul de silicat, ci depinde de volumul camerei. Dacă spațiul nefolosit din cameră

Scanned with OKEN Scanner

este redus la cît mai puțin posibil, raportul gaz/silicat poate fi redus la 1 : 10.

La procedeul convențional vid-CO_2 [1, 2] s-a constatat că există o limitare a secțiunilor groase ale formelor și miezurilor de la care întărirea nu se mai face complet.

Totuși, la procedeul vid-CO_2 prezentat acum nu există o asemenea limită (4). Cu cît vidul realizat este sub 20 torr, cu atît secțiunile groase (500 mm grosime de perete) pot fi mai ușor întărite pe secțiune. Pentru demonstrarea avantajelor obținute cu acest procedeu, în laboratoarele I.C.S.I.T.P.S.C.M. s-au efectuat o serie de experimentări ce s-au realizat cu ajutorul instalației prezentată în fig. 1.4.

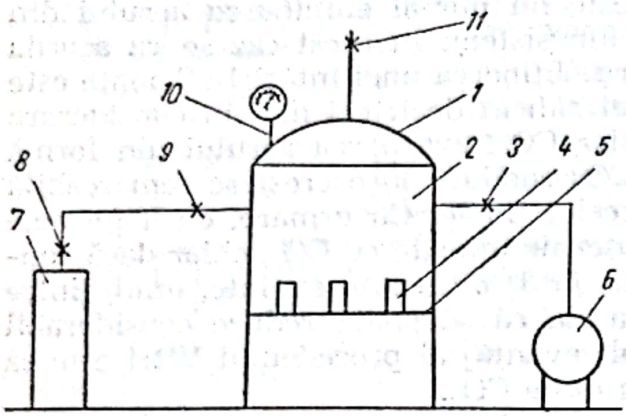


Fig. 1.4. Schema instalației de vidare I.C.S.I.T.P.S.C.M.:

1 — capacul incintei de vidare; *2* — incintă etanșă pentru vidare (~0,8 m³); *3* — robinet de evacuare a aerului; *4* — forme și miezuri supuse întăririi; *5* — suport pentru forme și miezuri; *6* — pompă de vid; *7* — butelie cu CO_2; *8; 9* — robineți de admisie a CO_2; *10* — vacuumetru; *11* — robinet de admisie a aerului.

Într-o primă fază s-au studiat comparativ rezistențele la compresiune obținute pe epruvete 50×50 mm (3 lovituri la sonetă) în condiții normale cu CO_2 și cu procedeul vid-CO_2 pentru două sorturi diferite de nisip. Ele au fost executate dintr-un amestec conținînd 3% liant (silicat de sodiu cu m=2,5 și ρ=1,5 g/cm³).

La procedeul VRH, parametrii procesului au fost: vidare la o depresiune de 15 torri (temperatura mediului ambiant=18°C) cu menținere timp de un minut și apoi gazare cu CO_2 pînă ce vidul a fost redus la aproximativ 500 torr cu menținere 1 minut.

S-au efectuat măsurători, în ambele cazuri ale rezistențelor la compresiune, imediat, după 2 h și după 24 h.

Rezultatele obținute sînt trecute în tabelul 1.2. Se observă că rezistențele la compresiune obținute sînt de 3—4 ori mai mari la procedeul VRH față de procedeul normal în condițiile unui conținut mic de liant (conținutul teoretic necesar de liant este de 1,5—3% în funcție de diametrul mediu al granulei de nisip și componența levigabilă din sistem, pentru o grosime de peliculă de liant=1—2 μm).

Tabelul 1.2. **Caracteristici ale amestecurilor realizate prin diferite procedee**

Nr. crt.	Nisipul folosit		Silicat de Na[3] %	R_{ci} daN/cm²	R_{c2h} daN/cm²	R_{c24h} daN/cm²
	Sortul	%				
1*	Aghireș[1]	97,0	3,0	1,8	1,8	1,9
2*	Văleni T_0[2]	97,0	3,0	3,4—3,6	3,8—4,0	3,9—4,1
3**	Aghireș[1]	97,0	3,0	5,4—6,2	6,6—7	7,5—8
4**	Văleni T_0	97,0	3,0	9,6—10,2	10,4—10,6	15—16

* Procedeul obișnuit cu CO_2; ** procedeul VRH-VID-CO_2; [1] M50=0,19; GU=50,6; PL=0,24%; [2] M50=0,0986; GU=67%; PL=0,4%; [3] m=2,5; ρ=1,5 g/cm³.

Scanned with OKEN Scanner

În continuare s-a studiat influența timpului de menținere la vid, implicit a depresiunii necesare pentru vidare (viteza de evaporare a umidității din sistem) asupra rezistenței la compresiune a amestecurilor de formare liate cu silicat de sodiu (fără gazare cu CO_2). Rețeta de preparare folosită a fost: 97,0% nisip Văleni-T_0 cu: M50 (0,0986); GU=67%; PL=0,4%; PC=0,1%; 3,0% silicat de sodiu cu m=2,5 și ρ=1,5 g/cm³; timpul de malaxare, t_m=5 min.

Parametrii procesului au fost: depresiunea—p=1 torr, timpul de menținere în vid variind între 30 s și 6 min.

S-au executat probe pentru determinarea rezistenței la compresiune inițială R_{ci}, rezistența la compresiune finală $R_{c\,24h}$ și rezistența la compresiune remanentă $R_{c\,rem}$ determinată conform ASTM la T=850°C cu menținere timp de 12 min. Cu ajutorul rezultatelor determinate au fost obținute următoarele ecuații de regresie [6].

1) $R_{ci}=3{,}6415+1{,}1477\,t+0{,}01479\,t^2$ [daN/cm²].
2) $R_{c\,24h}=18{,}4528+1{,}5349\,t-0{,}0888\,t^2$ [daN/cm²].
3) $R_{c\,rem}=12{,}444-3{,}797\,t+0{,}694\,t^2$ [daN/cm²].

unde: t este timpul de vidare, în min.

Pe baza ecuațiilor de regresie s-a trasat diagrama din fig. 1.5. Din diagramă, precum și din ecuațiile de regresie se observă că R_{ci} și $R_{c\,24h}$ cresc permanent cu timpul de menținere la vid în intervalul considerat, iar $R_{c\,rem}$ are o zonă de minimum la mijlocul intervalului. Rezultă timpul optim de vidare, care la depresiunea de 1 torr este de 2—3 min. S-a studiat și influența separată a factorilor cei mai importanți ai procesului de întărire prin procedeul VRH VID și VID—CO_2. Parametrii procesului de vidare au fost diferiți: 1) p=1 torr; t_{vidare}=1 min; 2) CO_2/t_{gazare}=1 min; p_{CO_2}=500 torr; 3) p=1 torr; t_{vidare}=3 min; 4) $+CO_2/t_{gazare}$=1 min; p_{CO_2}=500 torr.

Rezultatele obținute sînt trecute în diagrama din fig. 1.6.

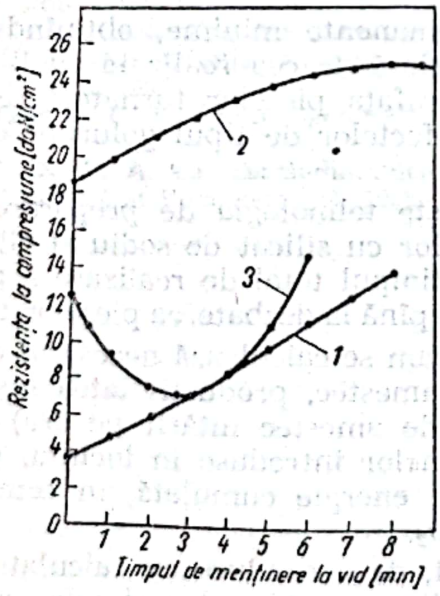


Fig. 1.5. Rezistențele la compresiune inițială — R_{ci}, finale $R_{c\,24h}$ și remanente $R_{c\,rem}$ în funcție de timpul de menținere în vid fără gazare cu CO_2.

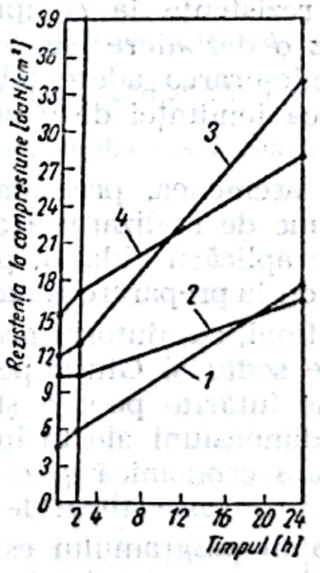


Fig. 1.6. Rezistența la compresiune a amestecului de formare cu 3% silicat de sodiu în funcție de timpul de expunere în aer, pentru parametri diferiți ai procedeului VRH.

Scanned with OKEN Scanner

Din diagramă rezultă următoarele aspecte:

— la un timp de vidare mai mic (t_{vidare}=1 min) rezistențele inițiale obținute fără gazare cu CO_2 sînt mici, sub limita rezistenței de manipulare (nivelul de deshidratare a fost scăzut);

— la gazare cu CO_2 pentru aceeași parametrii ai procesului, rezistențele inițiale s-au triplat, rezistențele finale la 24 h fiind aproximativ egale. În acest caz ponderea vidului asupra rezistenței inițiale (întărirea) a fost de 30—35%, iar ponderea CO_2 de 65—70%.

— la un timp de vid mare (t_{vidare}=3 min), precum și la un vid mai înalt (p=1 torr) viteza de evaporare a apei (cantitatea de apă eliminată din sistem) este mai mare, rezistențele la compresiune au crescut. Ponderea vidului în acest caz este mult mai mare și anume în jur de 75—80% (deshidratarea este aproape totală), iar ponderea gazării cu CO_2 fiind de 20—25%. Se observă că scopul gazării cu CO_2 este scurtarea ciclului de menținere la vid, obținerea unor rezistențe inițiale la compresiune corespunzătoare unor rezistențe de manipulare optime cerute în practica formării. Pentru optimizarea procesului tehnologic de întărire în vid a formelor și miezurilor liate cu silicat de sodiu și Glusil, s-a conceput un program pe calculator în BASIC 80 denumit „VRH 400 S“ (memoria necesară 40 Ko), ce stabilește parametrii optimi de vidare (timpul de menținere la vid, presiunea de vidare, presiunea și timpul de gazare cu CO_2), în funcție de temperatura mediului ambiant, dimensiunile incintei de vidare, grosimea maximă a formelor și miezurilor supuse vidării, pentru a obține proprietăți optime ale amestecurilor realizate cu silicat de sodiu și Glusil și anume:

— rezistențe la compresiune, inițiale și finale, ridicate, corespunzătoare rezistențelor la manipulare cerute în turnătorie, precum și o friabilitate mică, pentru a nu introduce în piesa turnată incluziuni de amestec (creînd defecte de tipul incluziunilor exogene);

— rezistențe la compresiune remanente minime, obținîndu-se în acest caz o dezbatere excelentă, apropiată de cea realizată cu lianți organici, micșorarea aderențelor pe suprafața pieselor turnate, precum și micșorarea tendinței de generare a defectelor de tipul golurilor datorită gazelor.

De asemenea, programul stabilește tehnologia de preparare (rețetele optime de realizare) a amestecurilor cu silicat de sodiu și Glusil, în condițiile aplicării vidului, precum și timpul total de realizare a pieselor turnate, de la prepararea amestecurilor pînă la dezbaterea pieselor turnate.

În final, cu ajutorul acestui program se calculează necesarul de CO_2, silicat de sodiu și Glusil pe tona de amestec, productivitatea instalației (în forme întărite pe oră și în tone de amestec întărit pe oră) pentru diferite dimensiuni ale incintei și formelor introduse în incintă, precum și eficiența economică și consumul de energie cumulată, în comparație cu procedeul clasic silicat de sodiu—CO_2.

Scopul programului este, de fapt, de a conduce cu calculatorul, în timp real, procesul tehnologic de realizare a formelor și miezurilor cu silicat de sodiu și Glusil (metoda „on line“) în condițiile aplicării vidului, proces care, pentru realizarea corectă a lui este necesară respectarea riguroasă a parametrilor procesului, respectiv: timpul de menținere la vid în funcție de grosimea maximă de perete a formelor sau miezurilor, presiunea minimă de vidare pentru realizarea proprietăților optime ale formelor și miezurilor la o anumită temperatură a mediului din incintă etc.

Scanned with OKEN Scanner

În concluzie, avantajele acestui procedeu pot fi rezumate astfel:

1) Conținutul de silicat de sodiu poate fi redus considerabil de la 5—6% la 3—3,5%.

2) Consumul de CO_2 poate fi redus aproximativ de 10 ori.

3) Datorită conținutului scăzut de silicat, formele și miezurile prezintă o dezbatere mult mai bună.

4) Conținutul mic de liant (silicat) în sistem determină mărirea fluidității amestecului și deci capacitatea de a fi insuflat în procesul de miezuire precum și tendința slabă de formare a defectelor de tipul golurilor generate de gaze.

5) Ca urmare a reducerii consumurilor de silicat de sodiu în amestec se apreciază că recuperarea nisipurilor prin regenerare se poate face cu randamente ridicate folosind instalațiile actuale de regenerare mecano-pneumatică cu care sînt dotate o serie de turnătorii din țara noastră.

BIBLIOGRAFIE

1. LIASS, A. M. Bîstrotverdeiușcie formovocinîie smesi. Moscova, Mașinostroenie, 1966.
2. NICHOLAS, K. EL. The CO_2-Silicate process in Foundries. Birmingham, BCIRA, 1972.
3. IGLESIAS, L., Al 50-lea Congres Internațional de turnătorie, Lisabona, 1984.
4. KAZUNORI KOBAYASHI, Procedeul VRH. În: Metallurgical Transaction, ian. 1987, p. 11.
5. Foseco Foundries International Ltd-Anglia, Birmingham. În: Foundry Practice nr. 201, iunie 1980 și nr. 206 ianuarie 1983.
6. BRATU, C. ș.a., Optimizarea proceselor metalurgice. București, Editura Didactică și Pedagogică, 1983.
7. NENIȚESCU, C. D. Chimie generală, București, Editura Didactică și Pedagogică, 1979.
8. KIRILLIN, V. A. ș.a. Termodinamică (traducere din limba rusă), București, Editura Științifică și Enciclopedică, 1985.

2.
Tehnologii de obținere prin turnare a matrițelor pentru deformare la cald a aliajelor

Prof. dr. ing. *Laurentie Sofroni*
Dr. ing. *Constantin Bratu*
Dr. ing. *Constantin Cernat*
Institutul Politehnic București

Matrițele reprezintă factorul de influență esențial asupra productivității utilajelor de forjă, fiind elementul cel mai solicitat în timpul procesului de deformare plastică [1].

Costul matrițelor, ciclul lor de fabricație precum și implicațiile pe care le aduce scoaterea lor prematură din uz în timpul procesului de forjare, impun criterii foarte judicioase de selecție a materialelor și tehnologiei de execuție a acestora.

Consumul specific de matrițe la o tonă de piese matrițate este în medie de 20 ... 25 kg, ceea ce reprezintă 5 ... 8% din costul matriței.

Caracteristicile oțelurilor pentru matrițe trebuie să corespundă regimurilor de lucru la matrițare, care diferă în funcție de specificul deformării. Ca elemente comune a oricărei metode de matrițare la cald sînt următoarele caracteristici [1, 2, 3]:

1) Deformarea are loc prin presare sau lovire, dezvoltînd în scule forțe care cresc de la zero pînă la valori de 200 daN/mm².

2) Matrițele se încălzesc superficial în contact cu materialul supus forjării, care cedează căldură prin conductibilitate. În timpul forjării au loc variații alternative de temperatură la suprafața matriței între 80 și 150°C la matrițele mici și între 0,5 ... 0,6 din temperatura de forjare la piese mari și complicate datorită creșterii coeficientului de conductibilitate termică, sub influența forțelor de deformare. Apar astfel tensiuni interne, favorizate de configurația locașului și tipul răcirii, care pot depăși rezistența la oboseală a materialului.

În perioada trecerii materialului cald de la domeniul adeziv la cel de frecare se produc puternice solicitări de alunecare la suprafața activă a matriței, care au tendința de a provoca fisuri superficiale perpendiculare pe direcția de solicitare. Curgerea materialului în locașul matriței solicită suprafețele de lucru și pereții la uzură, datorită frecării. Toți acești factori care acționează cumulat, depinzînd totuși de variabilele procesului de matrițare, condiționează în toate cazurile proprietățile care se impun unui material pentru matrițe.

Față de aceste condiții de exploatare, materialele pentru matrițele de forjare la cald trebuie să asigure următoarele proprietăți:

— tenacitate ridicată, limită de curgere suficient de înaltă, rezistență la șoc și la compresiune; valori de minimum 30% pentru gîtuirea la rupere și 8% pentru alungire se consideră acoperitoare pentru prevenirea ruperilor fragile ale matrițelor;

— rezistență înaltă la temperaturi normale și înalte, insensibilitate

Scanned with OKEN Scanner

la variațiile de temperatură, bună rezistență la oboseala termică și conductivitate termică ridicată;

— temperaturile critice de transformare suficient de ridicate, pentru a nu permite transformări ale austenitei în stratul superficial care dau loc la contracții, tensionînd astfel considerabil suprafața locașului, în intervalul temperaturilor de lucru;

— rezistență mare la uzare la cald, asociată cu o bună călibilitate, în scopul obținerii unei durități superficiale bune, însoțită de omogenitate structurală în toată masa matriței;

— rezistență mare la oxidare superficială în contact cu semifabricatul cald, în scopul păstrării preciziei dimensionale;

— posibilitate de așchiere în limite tehnologice economice;

— tratament termic simplu, insensibilitate la fisurare la această operație, călibilitate mare și contracție minimă;

— cost cît mai scăzut.

Avînd în vedere regimurile de lucru ale matrițelor, materialele cele mai utilizate care satisfac acest complex de proprietăți sînt oțelurile mediu aliate. Oțelurile românești standardizate sînt cele mediu aliate cu conținut redus de nichel. În unele țări oțelurile pentru matrițe sînt din mărcile Cr—W; Cr—W—M; Cr—Ni—Mo, Ni—Cr—Mo—V.

În lucrarea [4] sînt recomandate mărcile de oțel din tabelul 2.1, destinate atît obținerii matrițelor prin turnare cît și prin deformare plastică.

În tabelul 2.2 se prezintă regimul de recoacere, iar în tabelul 2.3 duritatea și microduritatea matrițelor turnate după călire, din mărcile de oțel prezentate în tabelul 2.1.

Caracteristicile mecanice (R_m, R_{po2}) la diverse temperaturi sînt prezentate în tabelul 2.4, iar cele de plasticitate și tenacitate (A_5, Z, KCU, KCV) sînt prezentate în tabelul 2.5. Probele pentru încercări mecanice au fost prelevate din zona centrală a piesei și deformate plastic pînă la diametrul de 16 mm.

În lucrarea [5] se prezintă compoziția unui oțel destinat turnării matrițelor pentru deformare la cald (în procente de masă): C=0,42 . . . 0,50; Si=0,18 . . . 0,40; Mn=0,45 . . . 0,80; Cr=0,50 . . . 1,0; Mo=0,36 . . . 0,96; Ni=1,20. . . 1,60; V=0,03 . . . 0,09; Al=0,035 . . . 0,095; Ti=0,06 . . . 0,12; B=0,0008 . . . 0,0016; Ba=0,0005 . . . 0,008; Fe=rest. Raportul Ti/B= =75 . . . 100. Această compoziție este recomandată pentru turnarea matrițelor mari cu grosimea în secțiune de 600 mm și asigură, în comparație cu altele, o rezistență ridicată la fisurare la cald, o rezilință ridicată și o călibilitate mai bună.

Elaborarea oțelurilor pentru matrițe se face în cuptoare cu inducție cu căptușeală acidă. Temperatura de turnare este de regulă mai înaltă cu 30 . . . 50°C peste temperatura lichidus.

În continuare se prezintă temperaturile lichidus (T_l) și solidus (T_s) pentru oțelurile folosite la turnarea matrițelor.

Oțelul	T_l, °C	T_s, °C
5Cr Ni Mo	1 485	1 420
3Cr 2Ni Mo V	1 475	1 430
5Cr 2Ni Mo V	1 470	1 410
4Cr 5Mo V Si; 4Cr 5Mo V 1Si; 4Cr 4W Mo V Si	1 460	1 400
4Cr 3Mo 3W 2V Si	1 450	1 390

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.1. **Compoziția chimică a oțelurilor pentru matrițe**

Marca oțelului	Starea materialului	Compoziția chimică, %									
		C	S	P	Si	Mn	Cr	Mo	V	W	Ni
5CrNiMo	Turnat	0,49—0,52	<0,018	<0,015	0,,4	0,5	0,65—0,73	0,2 —0,24	—	—	1,38—1,50
	Deformat plastic	0,49	0,02	0,018	0,42	0,53	0,67	0,24	—	—	1,42
5Cr2NiMo	Turnat	0,48—0,51	<0,018	<0,017	0,4	0,6	2,1 —2,2	0,9 —1,0	—	—	1,3 —1,4
	Deformat plastic	0,51	0,016	0,018	0,45	0,50	2,1	1,08	—	—	1,46
5CrNiMoV	Turnat	0,48—0,51	0,025—0,028	<0,014	0,37—0,45	0,52—0,61	1,32—1,38	0,41—0,52	0,10—0,12	—	1,7 —1,76
5Cr2NiMoV	Turnat	0,48—0,51	<0,017	<0,013	0,4	0,6	1,76—1,82	0,92—1,03	0,36—0,42	—	1,5 —1,6
	Deformat plastic	0,48	0,02	0,015	0,48	0,51	1,72	1,1	0,46	—	1,48
3Cr2NiMoV	Turnat	0,26—0,28	<0,02	<0,021	0,3—0,6	0,4 —0,56	2,14—2,3	0,49—0,63	0,3 —0,41	—	1,3 —1,47
4Cr5MoVSi	Turnat	0,38—0,41	<0,018	<0,015	0,9—1,0	0,4	4,9 —5,1	0,9 —1,1	0,5 —0,6	—	—
	Deformat plastic	0,39	0,018	0,016	0,96	0,48	4,91	1,04	0,51	—	—
4Cr5MoV1Si	Turnat	0,39—0,42	<0,015	<0,015	0,9—1,0	0,5	5,3 —5,4	1,18—1,26	0,79—0,9	—	—
	Deformat plastic	0,39	0,018	0,015	1,05	0,41	4,96	1,18	0,84	—	—
4Cr4VMoVSi	Turnat	0,38—0,40	<0,016	0,015	0,9 —1,05	0,5	3,5 —3,7	1,3 —1,4	0,5 —0,6	—	—
4Cr3Mo3W2VSi	Turnat	0,43—0,45	<0,016	<0,017	0,8 —0,95	0,5	2,9 —3,1	3,0 —3,15	0,5 —0,58	2,6 —2,75	—
	Deformat plastic	0,44	0,018	0,020	1,05	0,53	2,86	3,05	0,52	2,48	—

Tabelul 2.2. **Regimul de recoacere a matriţelor turnate**

Marca oţelului	Regimul de recoacere	Duritatea după recoacere *HB*, MPa
5CrNiMo	Încălzire pînă la 850°C, menţinere 3 h, răcire cu cuptorul pînă la 300°C, răcire în aer	2 300—2 500
5Cr 2NiMo, 5CrNiMoV, 3Cr2NiMoV	Încălzire pînă la 850°C, menţinere 3 h, răcire cu cuptorul pînă la 680—700°C, menţinere 12 h, răcire cu cuptorul pînă la 200°C, răcire în aer	
5Cr2NiMoV	Încălzire pînă la 850°C, menţinere 3 h, răcire cu cuptorul pînă la 640—660°C, menţinere 10 h, răcire cu cuptorul pînă la 200°C, răcire în aer	
4Cr5MoVSi 4Cr5MoV1Si	Încălzire pînă la 850°C, menţinere 3 h, răcire cu cuptorul pînă la 720°C, menţinere 5 h, răcire cu cuptorul pînă la 200°C, răcire în aer	2 100—2 300
4Cr3Mo, 3W2VSi	Încălzire pînă la 860°C, menţinere 3 h, răcire cu cuptorul pînă la 750°C, menţinere 4 h, răcire cu cuptorul pînă la 200°C, răcire în aer	

Tabelul 2.3. **Duritatea şi microduritatea matriţelor turnate după călire**

Marca oţelului	Temperatura de călire °C	Duritatea *HRC*	Microduritatea *HV* 0,98/5, MPa	
			În axa dendritei	Între dendrite
5CrNiMo	850	58	5 500	6 900
5Cr2NiMo	970	56	5 200	7 000
5CrNiMoV			5 400	7 200
5Cr2NiMoV		55	5 300	6 500
3Cr2NiMoV	950	49	4 600	5 800
4Cr5MoVSi	1 050	54	5 500	7 000
4Cr5MoV1Si		53	5 400	
4Cr4WMoVSi	1 070	54	—	—
4Cr3Mo3W2VSi	1 140	52	4 900	5 900

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.4. **Caracteristici mecanice ale matrițelor obținute prin turnare și deformare plastică**

Marca oțelului	Starea materialului	Duritatea după tratament termic HRC	Caracteristici mecanice (R_m, $R_{p0,2}$, în MPa) la diverse temperaturi, în °C									
			20		200		500		600		700	
			R_m	$R_{p0,2}$	R_m	$R_{p0,2}$	R_m	$R_{p0,2}$	R_m	$R_{p0,2}$	R_m	$R_{p0,2}$
5CrNiMo	Turnat	40	1 400	1 330	1 310	1 130	830	770	385	340	—	—
	Deformat plastic	40	1 400	1 320	1 320	1 140	850	780	380	320	—	—
	Turnat	46	1 700	1 600	1 580	1 420	870	760	410	340	160	120
	Deformat plastic	46	1 740	1 600	1 600	1 450	880	780	400	350	160	120
5CrNiMoV	Turnat	39—40	1 410	1 300	1 320	1 200	1 060	950	730	680	280	200
3Cr2NiMoV	Turnat	38—39	1 300	1 200	1 310	1 180	1 070	950	760	700	330	250
5Cr2NiMoV	Turnat	40	1 430	1 320	1 280	1 150	990	900	760	710	360	300
	Deformat plastic	39—40	1 410	1 350	1 390	1 200	1 070	950	820	750	400	320
	Turnat	46	1 680	1 560	1 600	1 430	1 360	1 220	1 080	1 060	710	600
	Deformat plastic	46	1 700	1 510	1 610	1 410	1 380	1 220	1 100	1 040	700	610
4Cr5MoVSi	Turnat	40	1 380	1 250	1 270	1 170	1 040	950	760	690	450	380
	Deformat plastic	40	1 450	1 300	1 320	1 140	1 020	920	790	720	460	380
4Cr5MoV1Si	Turnat	46	1 670	1 540	1 580	1 400	1 400	1 240	1 100	1 060	750	640
	Deformat plastic	46	1 740	1 520	1 630	1 420	1 390	1 250	1 120	1 070	740	660

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 2.5. **Caracteristici mecanice de plasticitate şi tenacitate ale matriţelor turnate**

Marca oţelului	Duritatea după tratament termic HRC	Proprietăţile mecanice (A_5, Z, în % şi KCU, KCV, în J/cm²) la diverse temperaturi, °C																	
		20				200				500				600				700	
		A_5	Z	KCU	KCV	A_5	Z	KCU	KCV	A_5	Z	KCU	KCV	A_5	Z	KCU	KCV	A_5	Z
5CrNiMo	40 46	6,5 4,5	17 10	34,5 24,5	19,8 —	8 7	20 16	37,5 29,5	21,5 16,5	17 16	65 60	39 29,5	19,8 16,5	48 45	90 85	300 —	24,5 —	— —	— —
5CrNiMoV	39—40	4	6	25	11	5	12	30	—	13	42	28	20	20	60	33	—	—	—
3Cr2NiMoV	38—39	8	20	31	12	9	20	45	—	15	50	50	25	22	60	60	—	—	—
5Cr2NiMoV	40 46	2,5 0	0 0	19,8 —	14,5 —	3 2	0 0	19,8 8,5	— —	8,5 5,5	33 15	23,5 17,5	19,8 —	10,5 8	34 25	34,5 21,5	24,5 —	45 —	84 —
4Cr5MoV1Si	40 46	1 0	0 0	7 4,5	6 —	0,7 0,5	0 0	12,5 8,8	8,5 —	6 4	22 15	21,5 20	17,5 13,4	12 10	33 25	20 18	17,5 13,5	16 13	65 60

Scanned with OKEN Scanner

Tehnologiile cele mai folosite de obținere a matrițelor sînt cele prin deformare plastică prin forjare și prin turnarea oțelurilor în forme [6, 7].

Procedeele prin *turnare*, față de cele de deformare plastică, asigură o serie de *avantaje*:

— obținerea compoziției chimice dorite a oțelului;
— micșorarea manoperei de prelucrare, matrițele putînd fi turnate la cote apropiate sau în anumite cazuri la cotele de utilizare;
— proprietăți mecanice comparabile cu cele obținute prin forjare;
— rezistența mai bună la uzare la cald;
— cost mai scăzut.

Dezavantajele procedeului prin turnare constau în:

— prezența unor zone cu neomogenitate chimică și structurală, care provoacă dificultăți de prelucrare;
— apariția uneori a fragilității matrițelor.

Principalele tipuri de forme folosite la obținerea matrițelor turnate din oțel sînt:

— forme din amestecuri clasice, cu argilă ca liant;
— forme din amestecuri cu întărire la rece;
— forme din amestecuri cu întărire la cald;
— forme ceramice monolitice;
— forme vidate (procedeul V);
— forme combinate;
— forme metalice;
— turnarea matrițelor prin procedeul de retopire electrică sub zgură (procedeul REZ).

Alegerea tehnologiei de formare se face în funcție de dimensiunile de gabarit ale matrițelor și de adaosurile de prelucrare, care determină economicitatea procedeului de obținere a matrițelor turnate.

Cele mai utilizate tehnologii de obținere a matrițelor turnate (din punctele de vedere economic și al preciziei dimensionale) sînt: procedeul Shaw, turnarea în forme combinate, turnarea în forme vidate (procedeul V) și procedeul REZ.

Procedeul Shaw se bazează pe realizarea unor forme ceramice monobloc din materiale refractare și este descris pe larg în lucrarea [8].

Dintre avantajele specifice procedeului Shaw, cele mai importante sînt obținerea unor suprafețe active netede cu rugozitatea de 6 . . . 20 μm, fără incluziuni și porozități și o compactitate ridicată a aliajului turnat. Procedeul asigură precizie dimensională ridicată iar adaosurile de prelucrare se adoptă în funcție de dimensiunile de gabarit ale matrițelor (tabelul 2.6).

Tabelul 2.6. **Adaosurile de prelucrare a matrițelor turnate în forme ceramice**

Dimensiunile de gabarit ale matrițelor, mm	Adaosul de prelucrare, mm	
	La suprafața activă	La exterior
150× 150×100	0,5—1,0	2—4
300× 450×250	1,0—1,5	3—4,5
500×1 000×400	1,5—2,5	5—7

Scanned with OKEN Scanner

În lucrarea [9], se prezintă o tehnologie de obținere a matrițelor de oțel, turnate în forme combinate (fig. 2.1). Forma este realizată din amestec cu silicat de sodiu, iar pentru obținerea suprafeței active de lucru a matriței se folosește un miez din amestec cu întărire la rece. Compoziția amestecului pentru miez (în părți de volum): — 100% nisip de zircon;

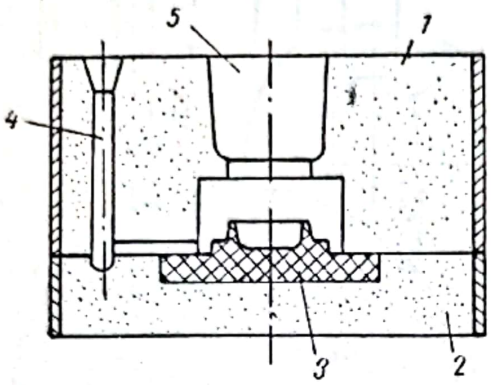
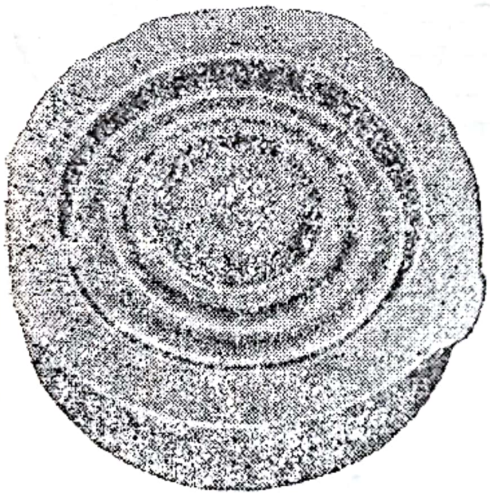
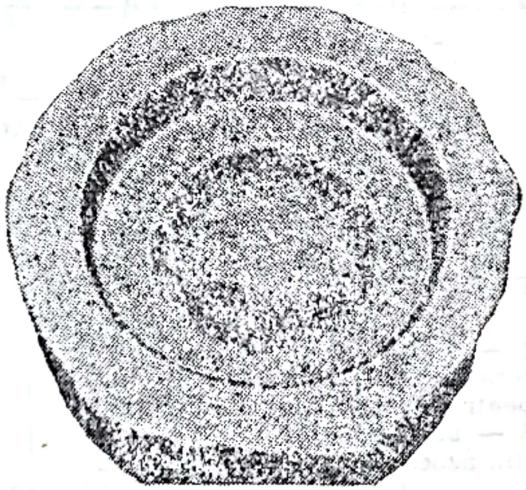


Fig. 2.1. Formă combinată pentru obținerea matrițelor:
1, 2 — semiforme superioară respectiv inferioară realizate din amestec cu silicat de sodiu; *3* — miez din amestec cu întărire la rece; *4* — rețeaua de turnare; *5* — maselotă.

Fig. 2.2. Matriță turnată din oțel în formă combinată:
a — matriță superioară; *b* — matriță inferioară.


a


b

— 1,2 . . . 1,5% soluție apoasă de benzensulfonic cu densitatea 1,3 g/cm³;
— 2,0 . . . 2,5% rășină furanică.

Miezurile se realizează în cutii metalice prin vibropresare și presare ulterioară. Timpul de întărire este de 15 . . . 40 min, în funcție de grosimea miezului. Miezurile se vopsesc cu vopsea pe bază de făină de zircon și lac de polivinilbutirol (densitatea $\rho = 1{,}8 \ldots 1{,}9$ g/cm³).

Folosirea amestecurilor cu întărire la rece asigură o precizie dimensională mare, reducerea de 8 . . . 10 ori a timpului de execuție a miezului și de 10 . . . 20 ori a costului matriței.

În fig. 2.2, *a* și *b* este prezentată o matriță turnată din oțelul 5CrNiMo în formă combinată (amestec cu silicat de sodiu pentru realizarea suprafeței exterioare și amestec de miez cu întărire la rece pentru realizarea suprafeței active interioare a matriței).

O altă tehnologie de obținere a formelor combinate pentru turnarea matrițelor din oțel [10] are în vedere folosirea formelor metalice pentru realizarea suprafeței exterioare a matriței și a unui miez ceramic pentru realizarea suprafeței active a matriței (fig. 2.3). Această variantă tehnologică este folosită pentru turnarea matrițelor cu masa pînă la 30 kg destinate matrițării pieselor mici la o presă de 2 000 kN (200 tf).

Scanned with OKEN Scanner

Precizia dimensională a matriței este ridicată, suprafața activă fără defecte iar adaosul de prelucrare este mic (0,5 . . . 1 mm).

În fig. 2.4 este prezentată fotografia unei matrițe turnate din oțelul 4Cr5MoV1Si, cu dimensiunile ∅185×100 mm în formă combinată (formă metalică cu miez ceramic).

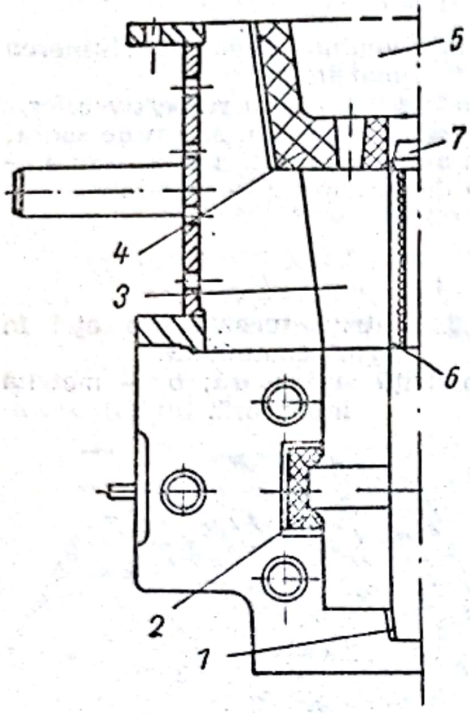


Fig. 2.3. Formă combinată pentru obținerea matrițelor:
1 — formă metalică; *2* — miez ceramic; *3* — maselotă; *4* — miez pentru sistemul de alimentare; *5* — bazin de turnare; *6* — șnur din azbest; *7* — răcitor din oțel.

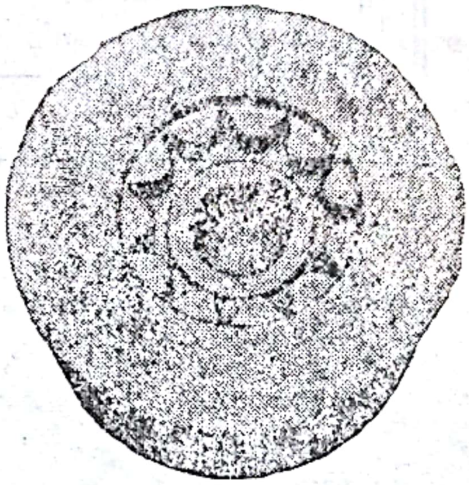


Fig. 2.4. — Matriță turnată din oțel în formă combinată (formă metalică — miez ceramic).

În fig. 2.5 se arată tehnologia obținerii matrițelor [10] în forme combinate realizate din amestecuri clasice cu argilă ca liant (forma propriu-zisă) și din miezuri ceramice pentru obținerea suprafeței active a matriței. Miezurile ceramice sînt realizate prin procedeul Shaw. Pentru compensarea parțială a contracției amestecului de miez în timpul calcinării se mai introduce 2 . . . 4% criolită și 0,8 . . . 1,6% florură de calciu.

În fig. 2.6, *a* se prezintă forma pentru obținerea unei inserții de matriță de la o presă de 25 MN 2 500 tf, iar în fig. 2.6, *b* forma pentru matrița turnată. Vopseaua pentru forma metalică se compune din: 25% marșalită, 25% argilă, 35% praf de șamotă, 15% silicat de sodiu (densitatea 1,48 . . . 1,52 g/cm³, modulul 2,5 . . . 3) și apă pentru obținerea unei densități a vopselei de 1,2 . . . 1,5 g/cm³.

Matrițele au fost turnate din oțelul 5Cr2NiMoV și au fost tratate termic: omogenizare la 1 150°C, normalizare la 980°C, revenire la 680°—690°C; tratament termic final: călire în ulei la 950—980°C; revenire la 580—600°C cu menținere 4 minute pentru 1 mm secțiune.

O altă variantă de obținere a inserțiilor active ale matriței este prezentată în lucrarea [11]. În fig. 2.7, *a* este prezentată forma pentru turnarea inserției, iar în fig. 2.7, *b*, montarea inserției în matriță. Există posibilitatea alierii superficiale a inserțiilor din oțel prin introducerea în

Scanned with OKEN Scanner

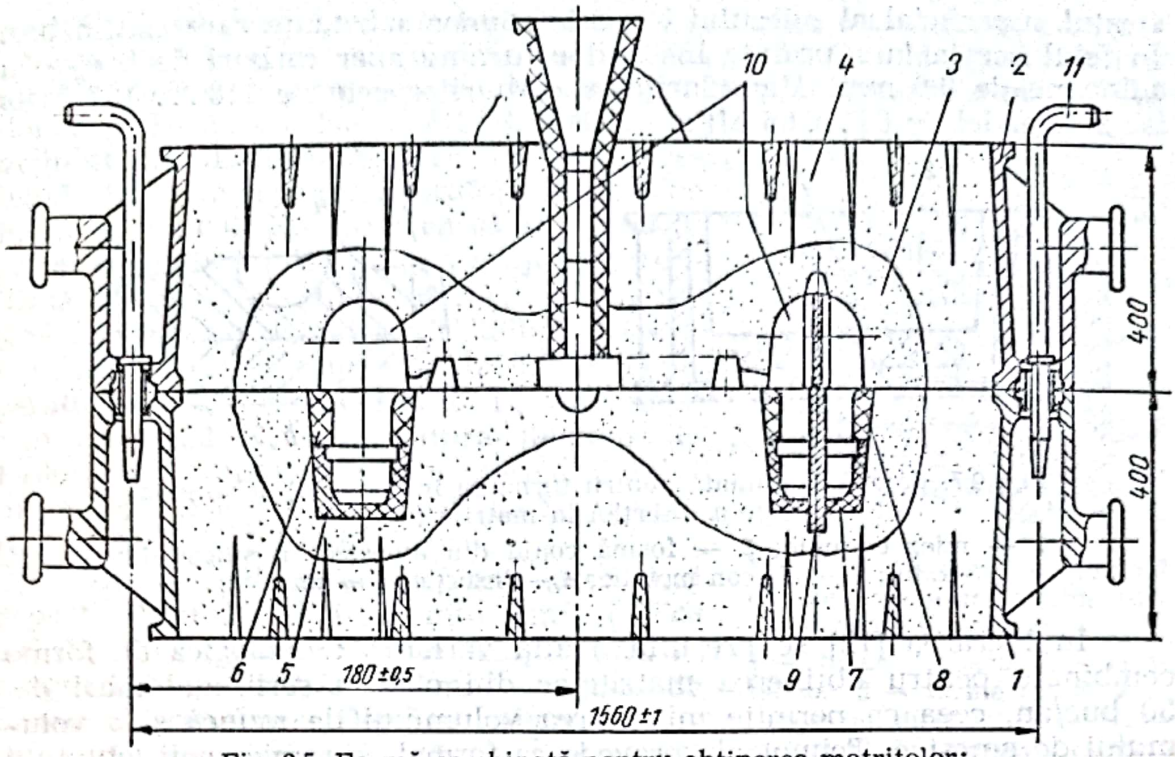


Fig. 2.5. Formă combinată pentru obținerea matrițelor:
1, 2 — rame; *3* — amestec de model; *4* — amestec de umplere; *5, 6, 7, 8* — miezuri ceramice pentru suprafața activă; *9* — răcitor; *10* — maselote închise; *11* — tijă pentru centrarea ramelor.

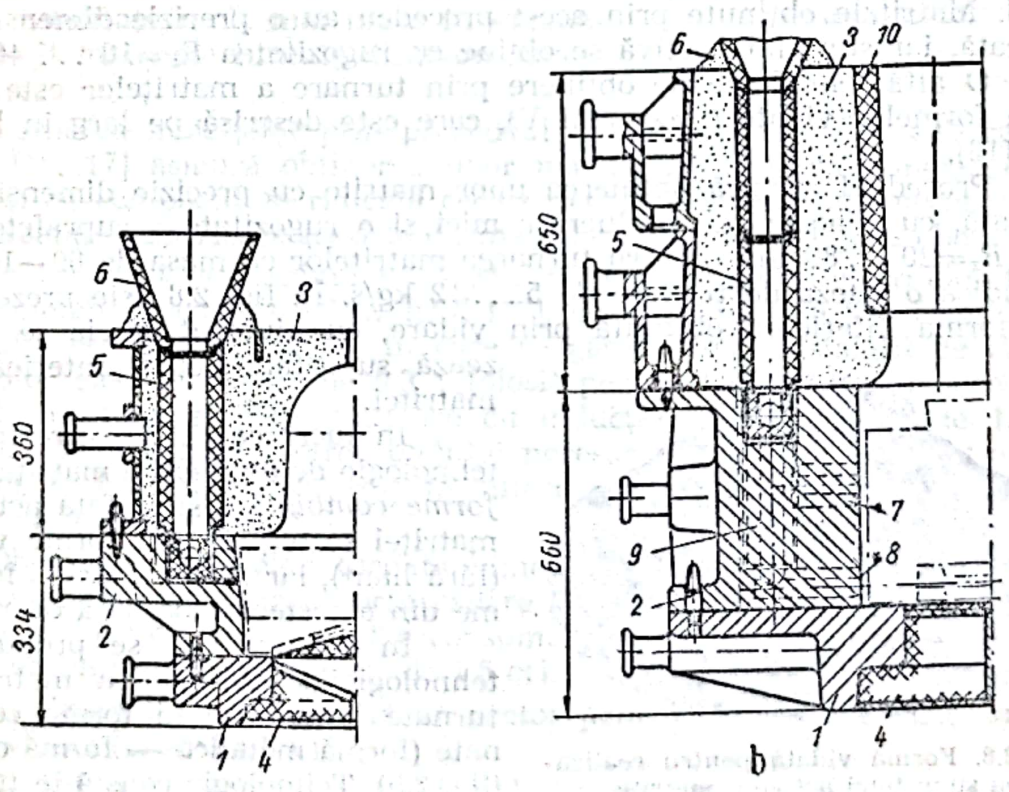


Fig. 2.6. Formă combinată pentru obținerea unei inserții de matriță (*a*) și a matriței propriu-zise (*b*):
1, 2 — semiforme metalice din fontă; *3* — semiformă superioară pentru obținerea maselotei; *4* — miez ceramic pentru obținerea suprafeței active a inserției; *5, 6, 7, 8, 9* — rețeaua de turnare; *10* — amestec termoizolant (exoterm).

Scanned with OKEN Scanner

stratul superficial al miezului ceramic a unor substanțe care conțin bor. În felul acesta la suprafața inserțiilor turnate apar carburi de bor pe o adîncime de 0,6 mm. Microduritatea carburilor este de 118 ... 107 MPa iar a inserției de 68 ... 65 MPa.

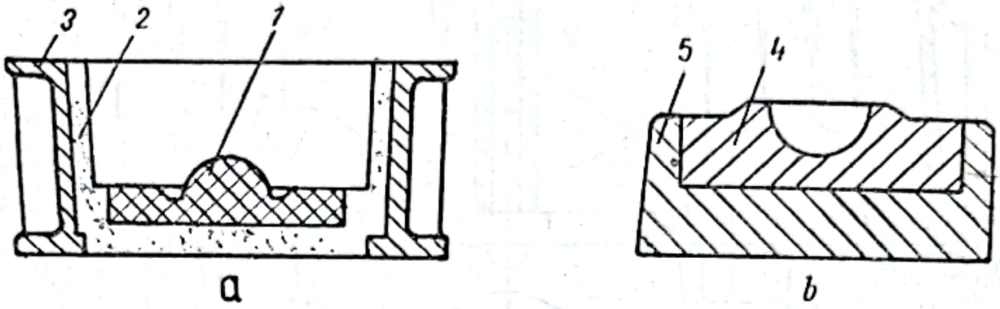


Fig. 2.7. Formă combinată pentru turnarea inserției (*a*) și de montare a inserției în matriță (*b*):
1 — miez ceramic; *2* — formă coajă din amestec cu silicat de sodiu; *3* — cheson metalic; *4* — inserție; *5* — matriță.

În lucrarea [12] se prezintă o altă variantă tehnologică de forme combinate pentru obținerea matrițelor din oțel la serii mai mari de 30 buc/an, ceea ce permite micșorarea volumului de muncă și a volumului de amestec. Tehnologia prevede ca formele ceramice coji (obținute prin procedeul Shaw) să aibă drept strat de sprijin forme metalice profilate și nu forme din amestecuri cu silicat de sodiu. În acest caz forma metalică se montează peste model și apoi se introduce amestecul ceramic fluid. Matrițele obținute prin acest procedeu au o precizie dimensională ridicată, iar suprafața activă se obține cu rugozitatea R_z=10 ... 40 μm.

O altă tehnologie de obținere prin turnare a matrițelor este folosirea formelor vidate (procedeul V), care este descrisă pe larg în lucrarea [13].

Procedeul asigură obținerea unor matrițe cu precizie dimensională ridicată, cu adaosuri de prelucrare mici și o rugozitate a suprafeței active R_z=20 ... 80 μm. Pentru turnarea matrițelor cu masa de 60—180 kg se indică o viteză de turnare de 5 ... 12 kg/s. În fig. 2.8 este prezentată semiforma inferioară obținută prin vidare, cu ajutorul căreia se realizează suprafața activă interioară a matriței.

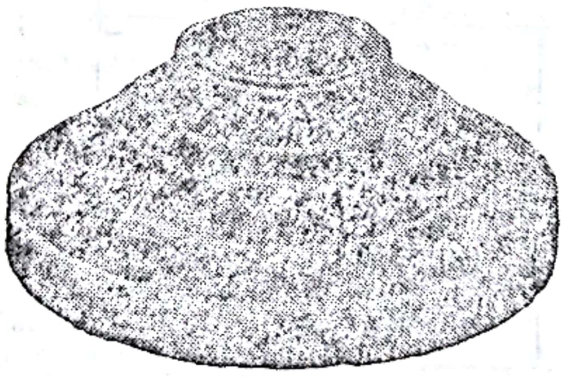


Fig. 2.8. Formă vidată pentru realizarea suprafeței active a matriței.

În lucrarea [14] se prezintă o tehnologie de obținere a matrițelor în *forme combinate;* suprafața activă a matriței se obține în forme vidate (fără liant), iar restul matriței în forme din amestecuri pe bază de rășini.

În lucrarea [15] se propune o tehnologie de obținere a matrițelor turnate bimetalice în forme combinate (formă metalică — formă coajă) (fig. 2.9). Tehnologia constă în turnarea la început a unei părți de oțel din marca 4Cr3W2V2Mo2Si (10 ... 50% din cavitatea tehnologică a formei). Cavitatea tehnologică a formei este realizată de forma coajă *3* și cristalizorul *2*, răcit cu azot lichid. După cristalizarea dirijată a unei proporții de 30 ... 80% din oțelul aliat turnat, se toarnă un oțel (de exem-

plu 9CrSi) cu conductivitate termică cu 20 ... 100% mai mare şi cu temperatura de început de solidificare cu 333 ... 373 K mai joasă decît a oţelului turnat în prima etapă. Deci, temperatura de turnare a celui de al doilea oţel este cu 293 ... 313 K mai joasă decît temperatura lichidus a oţelului iniţial. Răcirea piesei cu azot începe cînd temperatura suprafeţei active de lucru este 1 093 K, astfel ca să se realizeze autorevenirea oţelului. Forma coajă este realizată din nisip de zircon şi 2,5 ... 3,0% răşină fenol-formaldehidică. Cristalizorul (pentru evaporarea azotului) este din fontă. Temperatura de turnare a oţelului în prima etapă este de 1 833 K, temperatura lichidus de 1 780 K iar temperatura de turnare a oţelului turnat în a doua etapă, este 1 763 K; temperatura lichidus, 1 705 K.

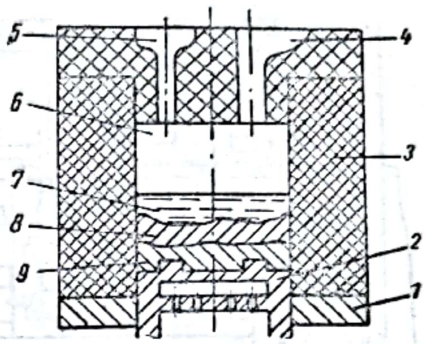


Fig. 2.9. Formă combinată de obţinere a matriţelor turnate bimetalice:
1 — placă de bază; *2* — cristalizor; *3* — formă coajă; *4* — pîlnie de turnare; *5* — răsuflător; *6* — cavitatea formei; *7* — oţel turnat în a doua etapă; *8* — zona de trecere; *9* — stratul superficial din oţel turnat în prima etapă; *10* — azot lichid.

Viteza de răcire asigură realizarea unui raport $\Delta T/v_c \geqslant$ 353 K·min/mm² ($\Delta T \simeq$ 491 K/mm — gradientul de temperatură în aliajul lichid; $v_c \simeq 2{,}73$ mm/min — viteza de creştere a cristalelor). Deci sînt asigurate condiţiile de cristalizare dirijată, în cazul răcirii cristalizorului la temperatura de —153 K.

Matriţele obţinute prin acest procedeu au avut dimensiunile de 250×150×120 mm şi o durabilitate mult mai mare în exploatare, decît matriţele turnate dintr-un singur aliaj.

Turnarea matriţelor prin procedeul de retopire electrică sub zgură (REZ) [16, 17] asigură obţinerea unor matriţe cu precizia dimensională mare, şi cu compactitate ridicată ceea ce conferă proprietăţi mecanice şi de exploatare superioare (rezistenţă mare la uzare la cald şi la oboseală).

În fig. 2.10 se prezintă un sector pentru obţinerea matriţelor turnate bimetalice prin procedeul REZ [17], cu masa pînă la 8 t. Suprafaţa sectorului este de 42×18 m, în care se găsesc două instalaţii de REZ, un cuptor electric cu arc de 0,3 t folosit pentru topirea zgurii necesară procedeului REZ şi două cuptoare cu inducţie cu capacitatea de 1,0 t respectiv 2,5 t pentru topirea oţelului necesar celui de al doilea strat al matriţei. În tabelul 2.7 se prezintă puterea instalată şi consumul de apă pentru agregatele de bază.

Obţinerea matriţelor turnate bimetalice obţinute prin procedeul REZ, combinat cu turnarea prin cădere liberă a celui de al doilea strat, permite reducerea de două ori a consumului de elemente de aliere, creşterea durabilităţii în exploatare de 1,5 ori.

În figura 2.11 se prezintă un sector pentru obţinerea matriţelor în forme vidate (procedeul V).

Caracteristicile tehnice ale instalaţiei de turnare în forme vidate sînt:

— capacitatea, în t/an 1 000;
— productivitatea, în forme/h 6 ... 8;
— dimensiunile ramelor, în mm 1 000×800×240;

Scanned with OKEN Scanner

— personal de deservire, în oameni 3 sau 4;
— necesar de nisip, în t/h 8;
— masa instalației, în t 40;
— suprafața sectorului, în m² 180.

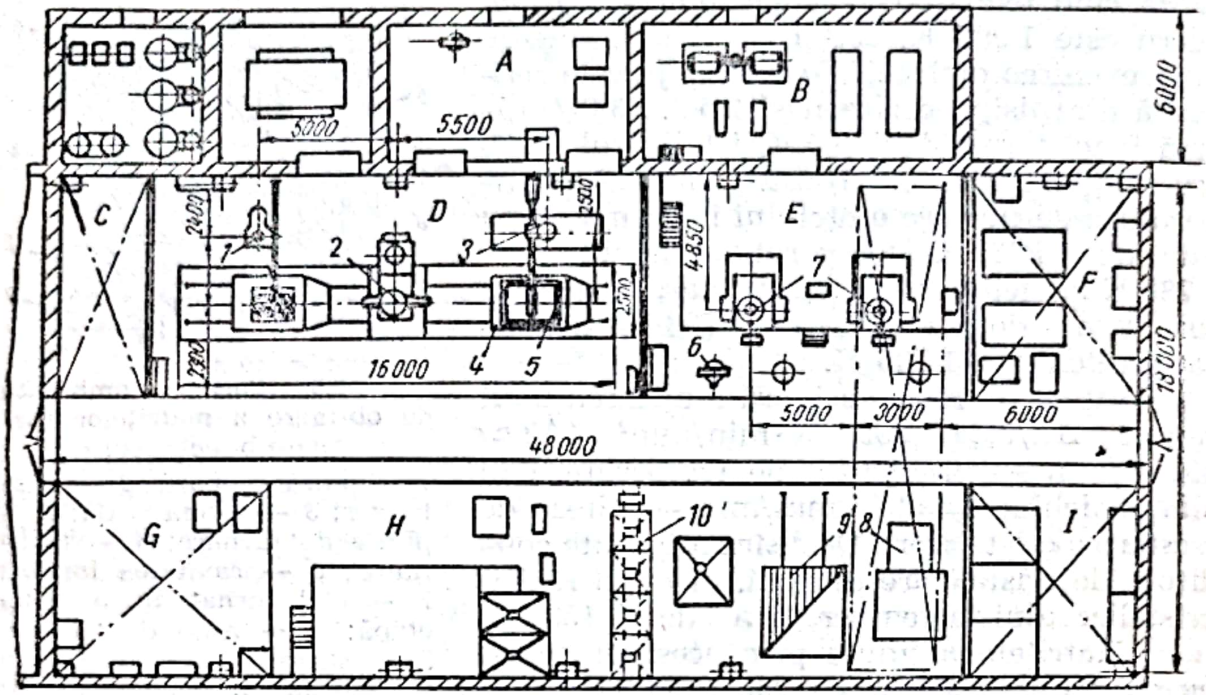


Fig. 2.10. Sector pentru obținerea matrițelor bimetalice prin procedeul REZ:
1; 3 — instalație de topire sub zgură; *2* — cuptor electric cu arc de 0,3 t; *4* — cărucior; *5, 6* — stand pentru încălzirea oalelor; *7* — cuptoare de inducție de 1,0 și 2,5 t; *8* — cuptor pentru calcinarea fondanților; *9* — cuptor pentru tratament termic; *10* — buncăre pentru fondanți, materiale refractare și metalice; *11* — sistem pentru epurarea gazelor; *A* — etaj II — instalație de distribuție; etaj *I* — două transformatoare de 1 000 kWA; *B* — sala de mașini a cuptoarelor cu inducție; *C* — sector pentru depozitarea echipamentului tehnologic; *D* — sector pentru retopirea electrică sub zgură; *E* — sector pentru cuptoare cu inducție *F* — sector pentru turnare; *G* — sector pentru depozitarea matrițelor; *H* — etaj *II* — pupitru de comandă; etaj *I* — camera maistrului; *I* — depozit pentru încărcătură și feroaliaje.

Tabelul 2.7. **Puterea instalată și consumul de apă**

Agregatul sau utilajul	Puterea instalată kW	Consumul de apă m³/h
Instalația de tratament termic	6 000	150
Instalația REZ	1 780	80
Cuptor electric cu inducție — 1,0 t	800	40
Sistemul de ventilare și de curățire a gazelor	100	10
Cuptor de calcinare	75	—
Cuptor pentru topirea zgurii	1 000	20

Scanned with OKEN Scanner

Metodele de obținere a matrițelor prin turnare asigură pe lîngă obținerea unor proprietăți mecanice și de exploatare ridicate micșorarea consumului de metal, reducerea ciclului de fabricație (prin eliminarea parțială sau totală a operațiilor de prelucrare mecanică) și chiar o micșorare a cheltuielilor de fabricație.

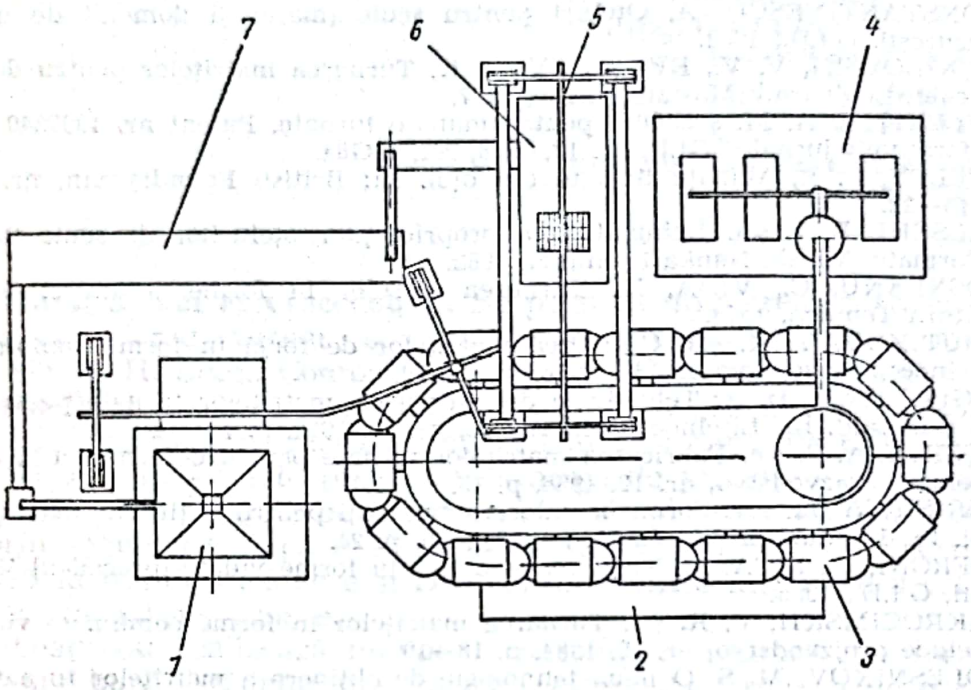


Fig. 2.11. Sector mecanizat de obținere a formelor vidate:
1 — instalație de obținere a formelor vidate; *2* — zona de turnare; *3* — conveior; *4* — pompe de vid; *5* — transfercar; *6* — instalație de dezbatere; 7 — sistem de răcire a nisipului.

În tabelul 2.8, [4, 18, 19, 20] se prezintă cheltuielile de fabricație și micșorarea consumului de metal la obținerea matrițelor turnate în forme ceramice, comparativ cu cele forjate.

Tabelul 2.8. **Consumul de metal și cheltuielile de fabricație a materialelor turnate comparativ cu cele forjate**

Elementul matriței		Masa elementului finit		Masa semifabricatului brut		Pierderi la prelucrarea mecanică		Cheltuieli
		kg	%	kg	%	kg	%	%
Inserție de matriță	turnată	22,0	100	27,2	126	5,2	26	100
	forjată	22,0	100	31,5	146	9,5	46	217
Extractor	turnat	3,7	100	3,95	107	0,25	4	100
	forjat	3,7	100	5,8	157	2,10	57	540

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. CHIRIȚĂ, V., DRĂGAN, I., MANIU, ALEX., VASILIU, A. Matrițarea la cald a metalelor și aliajelor. București, Editura Tehnică, 1979.
2. GHELER, Iu. A. Oțeluri pentru scule. Moscova, Metallurghia, 1983.
3. CONSTANTINESCU, A. Oțeluri pentru scule (mărci și domenii de utilizare). București, O.I.D., 1984.
4. KUNILOVSKI, V. V., KRUTICOV, V. K. Turnarea matrițelor pentru deformare la cald. Leningrad, Maşinostroenie, 1987.
5. BELENIȚKI, A. M. ș.a. Oțel pentru matrițe turnate. Patent nr. 1397540 U.R.S.S. Referativnîi jurnal, TOLP, nr. 12, 1988, ref. 12G84.
6. BEELEY, P. R. Matrițe turnate din oțel. În: British Foundryman, nr. 2, 1983, p. 15—22.
7. BELSCHI, E. I. ș.a. Îmbunătățirea proprietăților oțelurilor de scule turnate și deformate. Minsk, Nauka i tehnika, 1982.
8. COSNEANU, C., VIDA, M. Turnarea pieselor în forme ceramice. București, Editura Tehnică, 1978.
9. KRUTIKOV, V. K. ș.a. Obținerea matrițelor de forjă în forme combinate. În: Liteinoe proizvodstvo, nr. 11, 1978, p. 11—12.
10. ȘEGLOVITOV, L. A. Tehnologie de obținere a matrițelor turnate pentru deformare la cald. În: Liteinoe proizvodstvo, nr. 10, 1980, p. 12—14.
11. KUZKIN, A. S. ș.a. Fabricarea matrițelor turnate pentru deformarea la cald. În: Liteinoe proizvodstvo, nr. 12, 1986, p. 18.
12. BORISIK A. Ia. ș.a. Forme metaloceramice coji pentru obținerea matrițelor din oțel. În: Liteinoe proizvodstvo, nr. 12, 1986, p. 24.
13. SOFRONI, L., FITA, M. Turnarea aliajelor în forme vidate (procedeul V). București, O.I.D., 1985.
14. ZAKROCIMSKII, V. R. ș.a. Turnarea matrițelor în forme combinate vidate. În: Liteinoe proizvodstvo, nr. 10, 1984, p. 18—19.
15. KOLESNIKOV, M. S. O nouă tehnologie de obținere a matrițelor turnate bimetalice. În: Izvestia V.U.Z., ciornaia metallurghia, nr. 1, 1986, p. 120—124.
16. PATON, B. E. Turnarea pieselor prin retopire sub zgură. Moscova, Maşghiz, 1974.
17. ȘKODA, V. A., BERMAN, K. A. Sector pentru obținerea matrițelor prin procedeul REZ. În: Liteinoe proizvodstvo, nr. 1, 1986, p. 27—28.
18. CICIAGOVA N. P. ș.a. Turnarea matrițelor în forme combinate. În: Liteinoe proizvodstvo, nr. 6, 1973, p. 41—42.
19. BORODACEV, S. A. Turnarea matrițelor după modele ușor fuzibile. În: Liteinoe proizvodstvo, 1981, p. 36—37.
20. KRUTICOV, V. K. ș.a. Durabilitatea matrițelor turnate din oțel în forme obișnuite cu miezuri cu întărire la rece. În: Liteinoe proizvodstvo, nr. 11, 1973, p. 11—12.

Scanned with OKEN Scanner

3.
Turnarea pieselor în forme criogene

Ing. *Cocolaș Simion*
Dr. ing. *Chira Ion*
Institutul Politehnic București
Fizician *Crăciun Ștefan*
ICSITPSCM București
Ing. *Simionescu Gheorghe*
FUPSIC Focșani

Stadiul actual al procedeului. Se pare că utilizarea la scară industrială a formelor de turnare speciale de tip criogen s-a realizat inițial la turnătoria W. H. Booth Company Limited din Rotterdam și BOC Limited, procedeul fiind descris sub denumirea de „H" și „F" PROCESSES; ulterior în literatura anglo-americană apare sub denumirea de EFFSET PROCESS [1]. În fig. 3.1 este prezentată schema de principiu a unei linii de turnare în forme speciale de turnare din nisip și apă (fără liant) consolidate prin înghețare, după o comunicare în Foundry Trade Journal din mai 1979 făcută de C. Moore și D. Beet, doi dintre inițiatorii acestui nou procedeu special de turnare.

Gheața nu realizează numai o consolidare a suprafeței formei de turnare și o bună rezistență mecanică a acesteia, dar produce, de asemenea, prin evaporare un film de vapori la interfață cu aliajul lichid, obținîn-

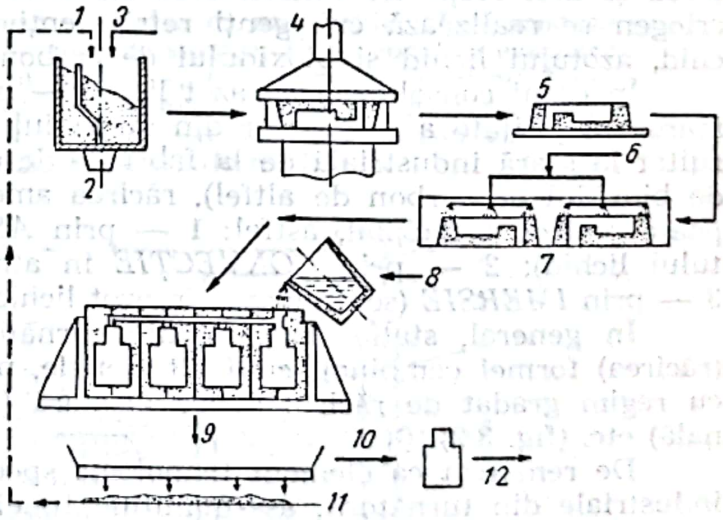


Fig. 3.1. Schema de principiu a unei linii pentru turnarea în forme criogene (EFFSET PROCESS — după o comunicare a inventatorilor acestui procedeu):
1 — nisip recirculat; *2* — amestecător (omogenizator); 3 — nisip nou și liant (tip CLAY=argilă); *4* — formarea (pentru obținerea rezistenței mecanice la crud, înaintea consolidării prin înghețare se utilizează 3% liant, de tipul argilei); *5* — demularea; *6* — alimentarea cu azot lichid; 7 — tunelul de înghețare pentru realizarea consolidării; *8* — operația de turnare; *9* — asamblarea semiformelor; *10* — dezbatere prin scuturare; *11* — recirculare nisip; *12* — piesă turnată.

du-se o piesă turnată cu suprafață netedă; dintre avantajele deosebite ale procedeului trebuie subliniate acelea că se evită dependența turnătoriilor de industria petrochimică, furnizoarea tradițională de lianți și faptul că apa, prin evaporare, nu produce gaze iritante sau toxice asemănător lianților clasici.

Scanned with OKEN Scanner

Semiformele înghețate pot aștepta în turnătorie pînă la ~1 h operația de turnare; deși la turnare temperatura lor crește, rezistența mecanică și integritatea lor este menținută pînă cînd se atinge temperatura de 0°C. Procesul acesta de încălzire a semiformelor înghețate, care așteaptă operația de turnare, poate fi urmărit vizual și se poate aprecia prin modificarea culorii și aspectului semiformelor criogene, culoarea acestora modificîndu-se de la alb la cafeniul natural.

Această tehnologie este aplicată deja la scară industrială în țări dezvoltate și cu tradiție în domeniu, concurînd tehnic și economic cu procedeele clasice de formare și turnare; pe viitor se prevede o dezvoltare substanțială a acestui procedeu, în condițiile deficitului actual de materii și materiale (lianți), odată cu perfecționarea metodelor de înghețare, cu randamente sporite și consumuri criogenice scăzute.

Rețete de amestecuri de formare utilizate. După cum s-a menționat, forma criogenă în principiu se realizează numai din nisip și apă, fără liant; gheața care rezultă, dispusă intergranular și pelicular realizează consolidarea formei, cu rezistențe mecanice suficiente pentru operațiile de demulare, transport, montare miezuri (obișnuite sau tot de tip criogen), asamblare și turnare.

Operația de înghețare se poate face înainte sau după realizarea demulării; în cazul înghețării ulterior demulării, rezistența mecanică la „crud" (a formei neîntărite) se obține prin utilizarea unei cantități reduse de liant clasic, utilizat în mod obișnuit pentru acest scop: argilă, bentonită, dextrină etc.

Nisipul este același cu cel de la prepararea amestecului clasic, deci în marea majoritate cuarțos, dar pentru piese din oțel, în egală măsură se poate folosi zirconul, cromitul, olivina sau șamota.

Metode, procedee și tehnologii de consolidare prin înghețare. În prezent, pe plan mondial, pentru producția la scară industrială, înghețarea și deci respectiv consolidarea formelor speciale de turnare de tip criogen se realizează cu agenți refrigerenți lichizi de tipul aerului lichid, azotului lichid și bioxidului de carbon lichid [2, 3, 4, 5, 6 și 7].

În cazul consolidării cu azot lichid — metodă care este utilizată în marea majoritate a brevetelor din domeniul formelor criogene (azot rezultat la scară industrială de la fabricile de oxigen lichid tehnic, alături de bioxidul de carbon de altfel), răcirea amestecului de nisip și apă se poate realiza, principial, astfel: 1 — prin *ASPERSIE* (pulverizarea azotului lichid); 2 — prin *CONVECȚIE* în atmosferă de vapori de azot; 3 — prin *IMERSIE* (scufundarea în azot lichid).

În general, stația criogenă din turnătorie realizează consolidarea (răcirea) formei combinat, cu 1—3 metode, prin utilizarea unor tuneluri cu regim gradat de răcire: răcire primară (preliminară), secundară (finală) etc. (fig. 3.2) [6].

De remarcat ca element tehnologic specific, în instalațiile criogene industriale din turnătorii, așa-numitul „tunel de înghețare"; acest utilaj se intercalează între stația de preparare (amestecare nisip și apă) și locul de turnare, traseul dintre acestea fiind de regulă acoperit cu ajutorul unui conveior cu plăci metalice.

În figura 3.3 este prezentată schema principială a unui astfel de tunel de răcire, utilaj care se regăsește sub o formă sau alta în orice instalație industrială mecanizată care realizează turnarea în flux continuu în forme criogene [1].

Scanned with OKEN Scanner

În figura 3.4 se prezintă schema unui procedeu de realizare a formelor speciale de turnare criogene, la care, în principiu, se utilizează aceleași SDV-uri ca și în cazul obținerii formelor prin vidare (procedeul V); se utilizează, de asemenea, nisip uscat *3* spălat, și nou, cît și regenerat.

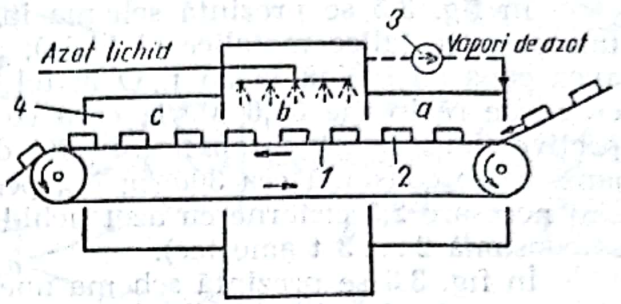


Fig. 3.2. Instalația de consolidare pentru forme speciale de turnare tip criogen:
1 — conveior cu plăci metalice; *2* — forme (cu sau fără rame de formare, nedemulate sau demulate) speciale, ce urmează a fi răcite; *3* — ventilator, pentru circulația controlată a vaporilor de agenți refrigerenți; *4* — spațiile tehnologice de răcire (*a* — spațiu de prerăcire; *b* — spațiu de congelare, propriu-zis; *c* — spațiu de uniformizare a temperaturii) [6].

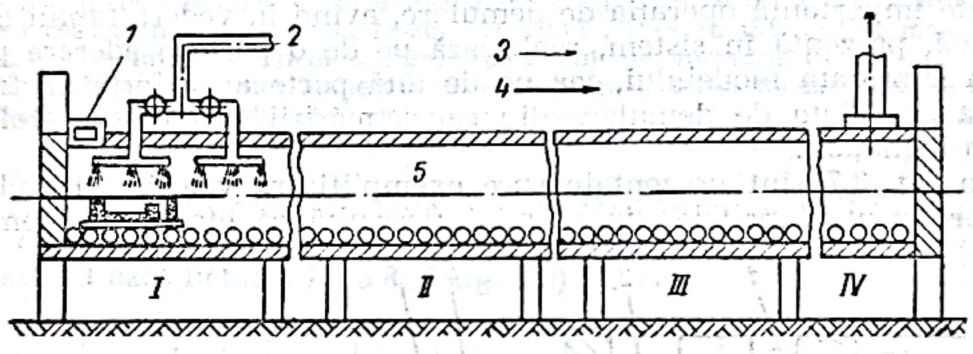


Fig. 3.3. Schema de principiu a unui tunel pentru înghețarea formelor criogene:
I — zona de înghețare prin sprayerea cu azot lichid; *II* — zona de înghețare secundară; *III* — zona de stocare; *IV* — zona de evacuare semiforme consolidate prin înghețare; *1* — punct de control; *2* — alimentare cu azot lichid; *3* — traseul formelor pentru realizarea înghețării; *4* — atmosferă de azot răcit; *5* — transportor cu bandă metalică pentru semiforme [1].

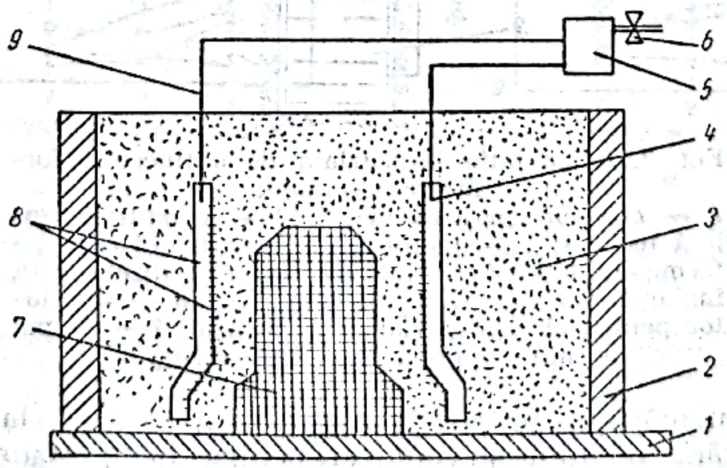


Fig. 3.4. Procedeu de realizare a semiformelor criogen (patent japonez nr. 55-80441 din 14.I.1982) [3]:

Scanned with OKEN Scanner

Garnitura de model se poate executa din aceleași materiale tradiționale (model: lemn, mase plastice — rășini), ca și în cazul formelor de turnare obișnuite, clasice [3]. Răcirea și obținerea procesului de consolidare se realizează cu ajutorul insuflării azotului lichid prin intermediul unor țevi *4* profilate în funcție de configurația modelului și îngropate în rame de formare; s-au obținut rezultate optime pentru un conținut de 3 . . . 4% apă în nisipul cuarțos de 1 . . . 3 mm granulație.

În fig. 3.5 se prezintă schema instalației de răcire a formelor metaloceramice (alice metalice și nisip); cisternele pentru azotul lichid pot avea capacități pînă la 35 t. O astfel de cisternă poate asigura o capacitate de răcire de 83,6 MJ/h, ceea ce face posibilă producția liniei respective timp de două săptămîni, cîte două schimburi pe oră. Pentru 1 t amestec se consumă cca 300 kg N_2; pentru 1 000 t/an piese turnate bune sînt necesare 2,5 cisterne cu azot lichid pe lună (la 1 t piese turnate bune se consumă 2 . . . 3 t amestec).

În fig. 3.6 se prezintă schema unei linii de turnare în forme-coji înghețate a pieselor mici și mijlocii.

Realizarea demulării. Pentru noul tip de forme de turnare, apare ca foarte importantă operația de demulare, avînd în vedere faptul că apa înghețată, prezentă în sistem, realizează pe de o parte o aderare puternică la suprafața modelului, iar pe de altă parte apar forțe de frecare mari la suprafața de demulare din cauza măririi specifice de volum a apei, la înghețare.

În fig. 3.7 sînt prezentate spre exemplificare valorile efortului de demulare pentru modele din aluminiu; rezultă că efortul de demulare

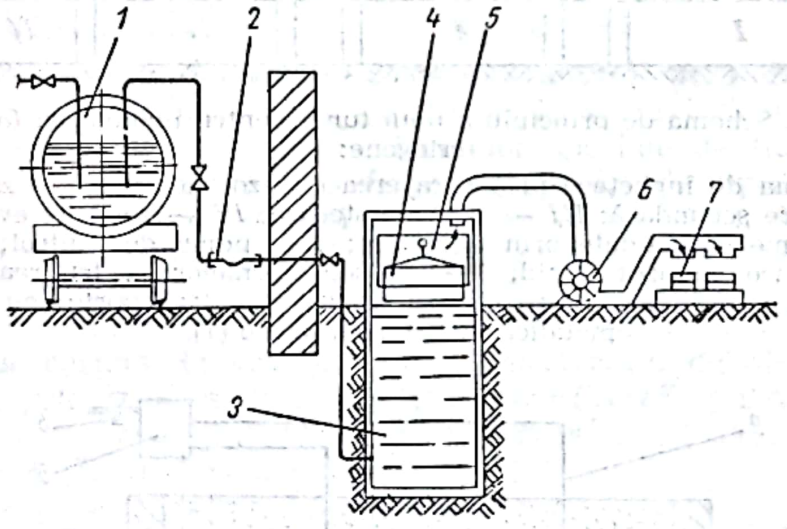


Fig. 3.5. Instalație industrială de obținere a formelor înghețate:
1 — cisternă cu azot lichid; *2* — conductă (izolată termic); *3* — recipient cu azot lichid (izolație termică); *4* — formă de turnare, rigidizată prin înghețare; *5* — orificiu de absorbție; *6* — ventilator pentru absorbția vaporilor de azot; *7* — forme asamblate, pregătite pentru turnare.

crește odată cu mărirea umidității amestecului (de la 1 la 3% apă), cu excepția utilizării uleiului siliconic și pentru toate cazurile utilizarea modelului neprotejat conduce la eforturi maxime necesare demulării; micșorarea efortului de demulare se realizează, potrivit unor soluții brevetate, prin acoperirea cu o peliculă de teflon.

Scanned with OKEN Scanner

Cinetica și termodinamica înghețării amestecurilor (nisip și apă). Au fost realizate încercări de determinare a vitezei de înghețare prin utilizarea unor semiforme-epruvete tip cub, cu latura de 6 inch, așezate pe planșete de aluminiu, înghețarea realizîndu-se cu azot lichid într-o instalație tip CRYOCAST; cu ajutorul termocuplurilor s-a urmărit cîmpul

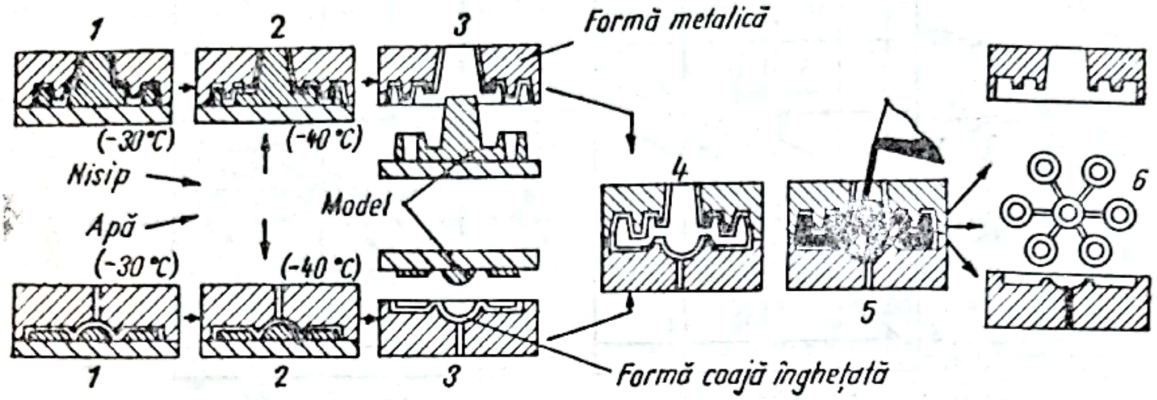


Fig. 3.6. Linie de executare a formelor coji înghețate:

1 — asamblarea modelului cu o formă metalică, în care urmează să se realizeze forma coajă, ambele răcite la (—30)...(—40)°C; *2* — în interstițiul model-formă metalică se introduce prin suflare amestecul de formare (nisip, apă, argilă) destinat obținerii formei înghețate; *3* — după înghețarea formei coji, se execută demularea; *4* — asamblarea semiformelor coji înghețate; *5* — turnare; *6* — extragerea pieselor turnate (dezbaterea).

de temperatură, în epruveta supusă înghețării în puncte situate la o adîncime de 0,25, 0,5, 1, 2, 5 și 5,5 inch de suprafața semiformei care era spraiată cu azot lichid (fig. 3.8 și fig. 3.9) [1, 17].

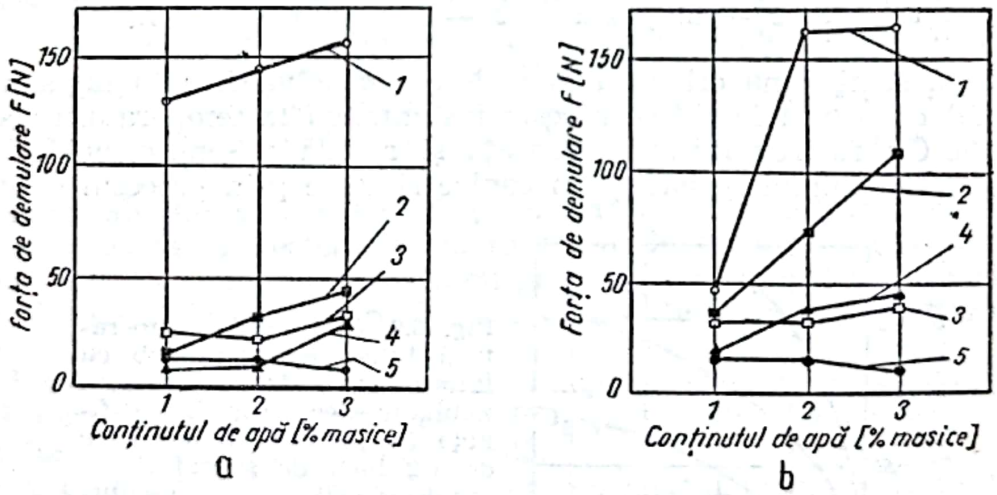


Fig. 3.7. Mărimea forței F necesare demulării modelului experimental din aluminiu, pentru amestec criogen răcit la —12±2°C timp de 1 h (*a*) și timp de 2 h (*b*) în cazul utilizării următoarelor tipuri de acoperiri de protecție ale modelului:

1 — fără acoperire; *2* — amestec 50% glicerină 50% apă; *3* — produs original polonez OMIX 90; *4* — glicerină; *5* — ulei siliconic.

S-a observat că rezistența mecanică a formei se obține concomitent cu avansul frontului de înghețare în epruvetă și este, pînă la un anumit moment dat, proporțională cu conținutul de apă și temperatura de răcire.

Scanned with OKEN Scanner

Viteza de înghețare a avut mărimea de —50°C la o grosime de 0,5 in în 3 min; rezistențele mecanice se apreciază la nivelul de 100 lb/in² (1 lb/in²=0,070307 kg/cm², 1 in=25,399 mm; 1 in²=6,451 cm²; 1 kg/cm²=14,223 lb/in²). Placa metalică din aliaj cu bază de aluminiu pe care este

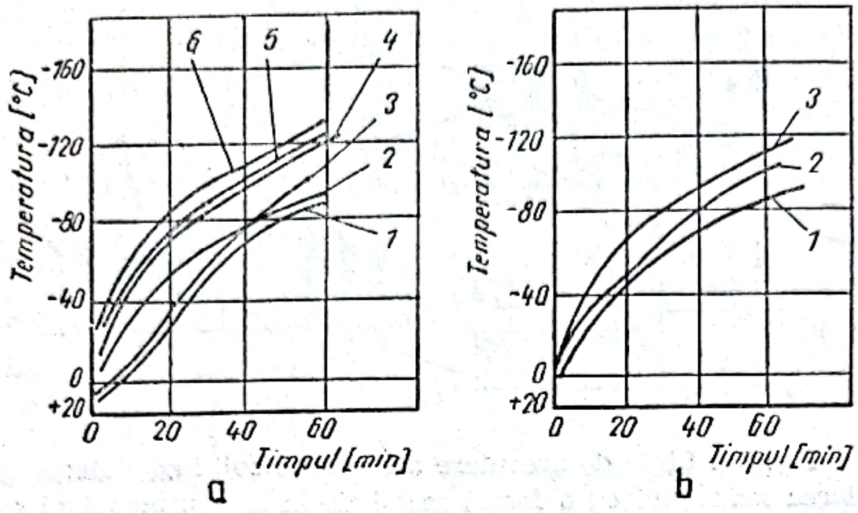


Fig. 3.8. Cîmpul de temperatură la înghețarea unei epruvete din amestec, în formă de cub, cu latura de 6 inch; temperatura de răcire menținută constantă la —100°C; amestec din nisip cuarțos cu finețea de 55 și 95 AFS, 5% apă și 3% liant:

a — același tip de amestec, temperaturile măsurate la diferite adîncimi în epruveta tip cub (*1* — la 5½ inch; *2* — la 5 inch; *3* — la 2 inch; *4* — la 1 inch; *5* — la 1/2 inch; *6* — la 1/4 inch); *b* — amestecuri diferite, temperatura măsurată la o adîncime de 1/2 inch (*1* — nisip cuarțos finețe 95 AFS; *2* — nisip zircon; *3* — idem 1, finețe 55 AFS).

depozitată semiforma criogenă în vederea consolidării prin înghețare, la contactul cu azotul lichid se răcește instantaneu la temperatura acestuia (~—196°C); răcirea inițială avansată și rapidă a semiformei criogene nu realizează numai rezistențe mecanice ridicate prin procesul de conso-

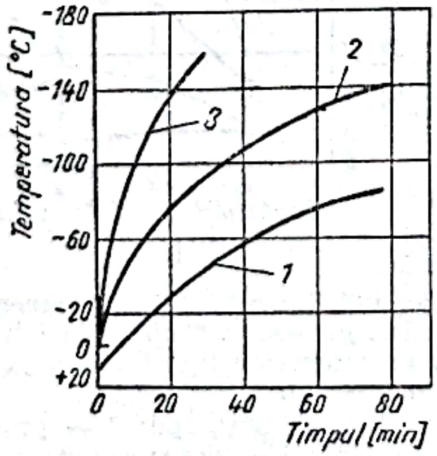


Fig. 3.9. Cîmpul de temperatură într-o epruvetă cub cu latura de 6 inch, în cazul unui amestec cu nisip de finețe 55 AFS, la o adîncime de 1/2 inch de suprafață, în cazul răcirii la temperaturi constante de menținere de:

1 — de —50°C; *2* — de —100°C; *3* — de —150°C [13].

lidare ca urmare a apariției gheței, dar duce și la menținerea umidității de la preparate în sistem, evitînd pierderea acestuia prin evaporare.

Proprietățile mecanice ale amestecurilor înghețate. În fig. 3.10 se indică variația rezistenței la compresiune a formelor înghețate, în funcție

Scanned with OKEN Scanner

de conținutul de apă utilizat și temperatura de răcire a formei; încercările mecanice s-au axat pe determinarea rezistenței la compresiune (R_c, în MPa; 0,1 MPa=1 daN/cm²), în condițiile răcirii probelor standard (∅ 50 mm și H=50 mm) la —12°C (cu o precizie de ±2°C).

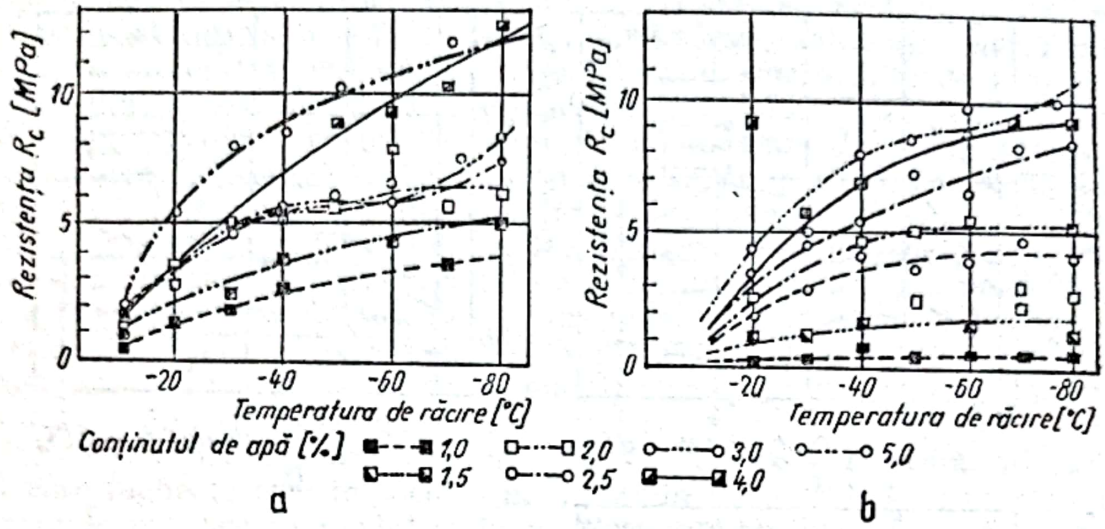


Fig. 3.10. Mărimea rezistenței la compresiune a amestecurilor de formare cu apă, înghețate, pentru cazul nisipului cuarțos (*a*) și zirconic (*b*) [15].

În fig. 11, *a*, *b*, *c* și *d* sînt prezentate valorile rezistenței la compresiune ale amestecurilor cercetate în functie de conținutul specific de liant (de la 1 la 5%) și apă (de la 1 la 5%); rezultatele menționate sînt mediile aritmetice a 100 de epruvete. Se observă că în primul rînd rezistența la compresiune este proporțională cu procentul de liant, fiind maximă pentru valoarea de 5% bentonită sau argilă (la un conținut constant de umiditate) și pentru un conținut constant de liant — bentonită sau argilă (de 1, 2, 3, 4 sau 5%) se micșorează, în general, cu creșterea umidității; scăderile importante se obțin în special în cazul amestecurilor cu argilă, cînd conținutul de apă depășește valoarea de 2%.

Permeabilitatea formelor criogene. Permeabilitatea formelor criogene se mărește odată cu creșterea temperaturii de înghețare (fig. 3.12); similar, permeabilitatea se mărește odată cu granulația nisipului utilizat și creșterea timpului de menținere la o anumită temperatură constantă de răcire.

S-a constatat faptul că formele criogene au o permeabilitate superioară formelor clasice cu silicat si CO_2 și comparabilă cu amestecurile obișnuite de formare, pe bază de argilă.

În timpul turnării formelor criogene, liantul (gheața) dă naștere la vapori, care datorită permeabilității ridicate a peretelui formei pot să treacă spre exterior; în timpul acestei deplasări, pentru zonele de amestec cu temperatura încă sub 0°C, se produce o recondensare a acestor vapori. Acest proces durează 2—6 min; în cazul așteptării la turnare, dacă se observă procesul de dezghețare (după aspectul vizual și modificarea culorii de la alb la cafeniu) forma se poate reutiliza după o nouă înghețare sau nisipul se poate recupera integral și recircula.

Deformarea formelor criogene în timpul înghețării. Coborîrea temperaturii amestecurilor de formare de la nivelul termic natural (+16 ... ... +25°C) la temperaturile negative de consolidare, conduce la modificarea constantelor fizico-mecanice și termofizice ale acestora.

Scanned with OKEN Scanner

Experienţele realizate în acest domeniu au demonstrat cert că frigul se transmite cu viteză mai mare şi la distanţe mai mari în amestecurile din nisip spălat comparativ cu nisipurile cu componentă levigabilă ridicată (cu argilă); acţionarea redusă a frigului asupra argilelor şi betonitelor

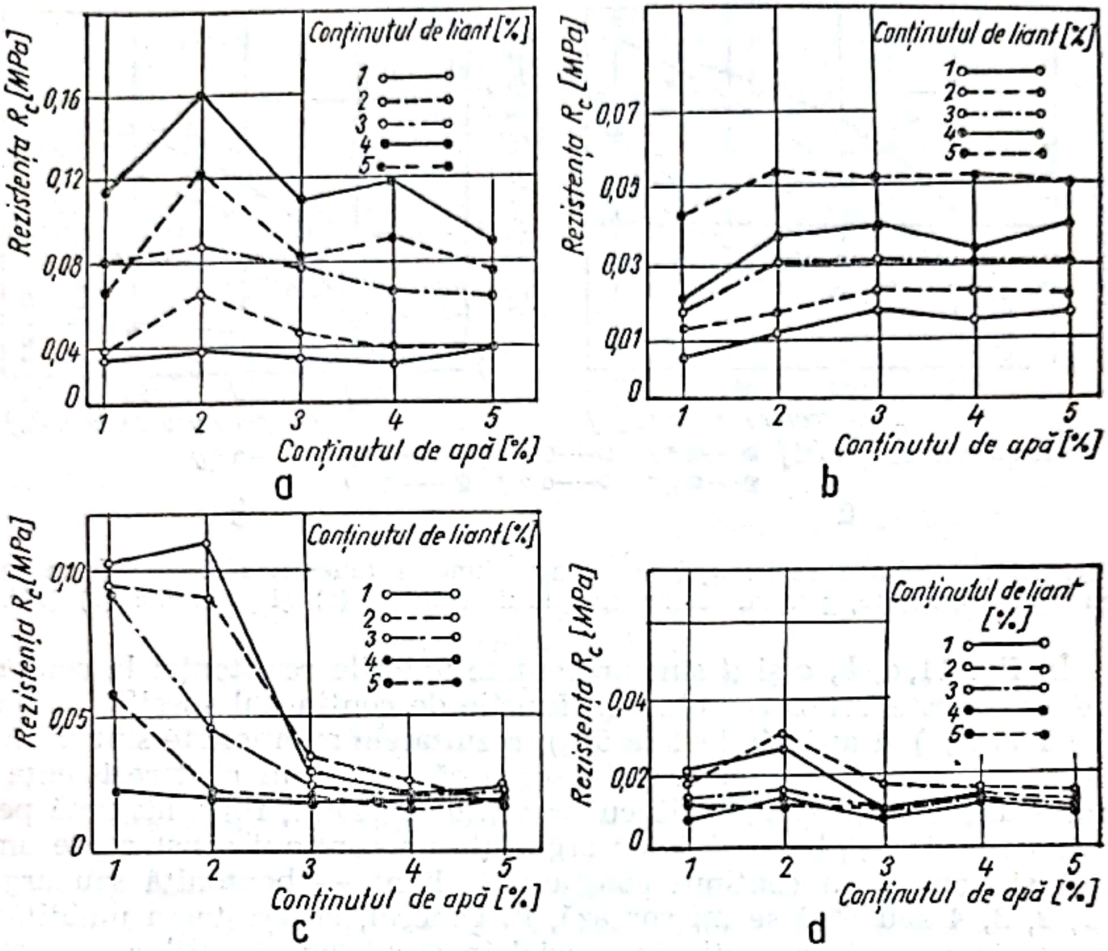


Fig. 3.11. Rezistenţele la compresiune ale amestecurilor cercetate în funcţie de conţinutul de liant şi apă utilizate:

a — nisip de zirconiu şi bentonită; *b* — nisip cuarţos tip Grudzen Las şi bentonită; *c* — nisip de zirconiu şi argilă tip GM-3; *d* — nisip cuarţos tip Grudzen Las şi argilă tip GM-3.

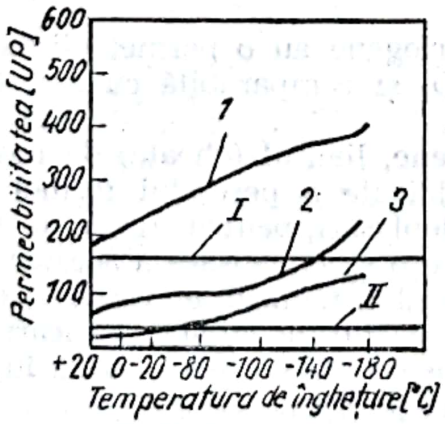


Fig. 3.12. Influenţa temperaturii de îngheţare asupra permeabilimităţii formelor speciale de turnare tip criogen: *I* — amestec clasic din nisip cuarţos granulaţia 55 AFS, silicat de sodiu şi întărit cu CO_2 (pentru comparaţie); *II* — nisip nou, umed; *1* — amestec criogen cu nisip cuarţos finete 55 AFS, 5% H_2O şi 3% liant; *2* — idem, cu nisip cuarţos finete 55 AFS, 5% H_2O şi 3% liant; *3* — idem, cu nisip zircon, 3% H_2O şi 3% liant.

prezente în amestecurile de formare obişnuite (clasice) supuse îngheţării pentru consolidare se explică prin conducţia termică redusă a acestor pulberi ca urmare a conţinutului ridicat de apă peliculară, care nu-şi schimbă

Scanned with OKEN Scanner

starea de agregare (nu îngheață, nu se transformă în gheață) mult sub temperaturi mai joase de 0°C.

Pentru argile se consideră că apa peliculară atinge pînă la 45% din totalul umidității conținute; după cum s-a mai menționat pentru ca apa peliculară să se solidifice, temperatura de răcire a amestecului criogen trebuie să coboare sub —78°C. Numai în aceste condiții apa peliculară îngheață și se obține procesul de consolidare al amestecului de formare criogen; din această cauză rezultă o consecință tehnologică deosebit de importantă și anume coborîrea temperaturii maxime de răcire proporțional cu creșterea fineții nisipului utilizat și cu mărirea proporției de componentă levigabilă. Cu alte cuvinte rezistențele mecanice vor crește odată cu mărimea conținutului de apă (umiditate tehnologică), mărirea granulației nisipului folosit (deci la o aceeași cantitate de apă, proporțional cu creșterea grosimii peliculei de apă pînă la un maximum, după care urmează o scădere a consolidării prin alunecarea pe straturile de apă neînghețate și ca urmare a ruperii gheții) și respectiv micșorarea conținutului de argilă (părți levigabile) din amestec.

Procesul deformării formei de turnare criogene datorită dilatării apei care îngheață este important în raport în primul rînd cu tensiunile pe care le produce în modul și în al doilea rînd poate afecta forma și dimensiunile cavității-amprentă.

După cum este cunoscut apa prezintă o anomalie și anume supusă procesului de solidificare prin coborîrea temperaturii își mărește volumul; la temperatura de +4°C densitatea apei este de 0,99, iar în stare solidă la ±0°C densitatea gheții este de 0,91 g/cm³.

Rezultă că volumul unui metru cub de apă crește prin înghețare cu

$$(1/0{,}91—1/0{,}99)100 \approx 9\%.$$

În schimb, scheletul solid de nisip prin scăderea temperaturii se contractă, această contracție volumetrică fiind proporțională cu $\beta \cdot \Delta t$ (β — coeficient de contracție volumetrică în % sau volum pe grad și Δt — intervalul de temperatură pe care se realizează răcirea, în grade).

Considerînd valorile $\beta = 0{,}0002$ m³/grd și $\Delta t = 20$°C rezultă o contragere volumetrică a nisipului de: $0{,}0002 \times 20 = 0{,}004$ m³, valoarea care este de sute de ori mai mică, comparativ cu creșterea în volum a apei prin înghețare, deci mărime care se poate neglija.

Considerînd un amestec de formare criogen cu 10% umiditate, rezultă că 1 m³ de amestec prin înghețarea celor 100 l apă își mărește volumul cu: $0{,}09 \cdot 100 = 9$ l sau echivalent cu 0,009 m³; cu această mărime va crește în volum 1 m³ de amestec de formare criogen.

Argile supuse înghețării nu-și măresc volumul, ci se produce o scădere a acestuia în prezența apei ca urmare a transformărilor specifice pe care le suferă suspensia coloidală argilă—apă în timpul răcirii (fig. 3.13).

Solidificarea aliajelor turnate în forme criogene. Rămîn valabile modificările cunoscute ale vitezei mari de răcire asupra solidificării aliajelor turnate: 1 — micșorarea domeniului soluțiilor solide monofazice; 2 — creșterea cantității de eutectic și apariția lui la conținuturi reduse de element de aliere; 3 — scăderea temperaturilor eutectice; 4 — finisarea structurii, modificarea eutecticului și creșterea compactității peretelui piesei turnate, ca urmare a scăderii mărimii zonei bifazice și micșorării ponderii retasurii disperse (porozități axiale) din totalul volumului de retasură (contracția totală volumetrică rămîne constantă).

Scanned with OKEN Scanner

Cinetica solidificării aliajelor turnate în forme criogene s-a apreciat după mărimea vitezei volumice de solidificare a aliajului; pentru comparație au fost utilizate forme clasice crude din amestec cu argilă și forme speciale criogene (nisip, apă și argilă — pentru rezistența în stare reînghețată, în vederea demulării) [18].

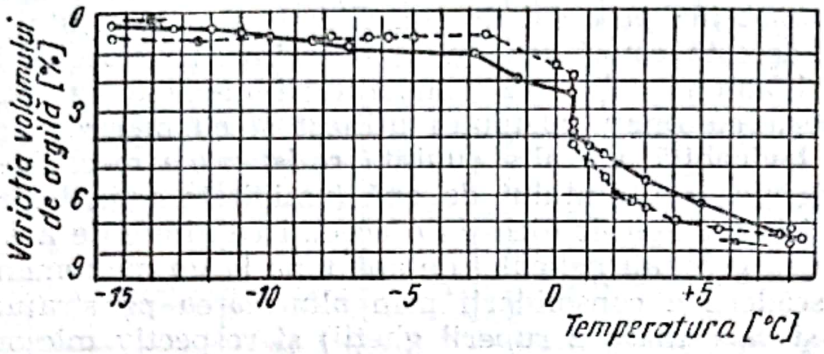


Fig. 3.13. Variația volumului argilei în funcție de temperatura de răcire.

S-a propus relația

$$\frac{v_i}{v_c} = \frac{b_{fi}(\Theta_k - \Theta_{ifi})}{b_{fc}(\Theta_k - \Theta_{ifc})},$$

unde: v_i și v_c sînt vitezele volumice de solidificare obținute în forma criogenă înghețată și respectiv forma crudă clasică; b_{ff} și b_{fc} — coeficienții globali de acumulare a căldurii de către formele de turnare înghețate și respectiv clasice, în $W \cdot s^{1/2}/m^2 \cdot K$; Θ_k — temperatura de cristalizare a aliajului lichid, în K; Θ_{ifi} și Θ_{ifc} — temperaturile inițiale ale formelor de turnare criogene și respectiv clasice, în K.

Rămîn deschise probleme referitoare la calitatea suprafeței piesei turnate și clarificarea rolului filmului de vapori care apare în timpul turnării datorat sublimării gheții din formele acestea speciale.

La Institutul Politehnic București și I.C.S.I.T.P.S.C.M. din București au fost inițiate cercetări, care pe de o parte să elucideze aspectele controversate sau mai puțin abordate, iar pe de altă parte să conducă la realizarea unor elemente tehnico-științifice certe, necesare întocmirii unor tehnologii de turnare în forme criogene aplicabile în turnătoriile din țara noastră.*

În acest sens s-au utilizat amestecuri din 100% nisip de Aghireș (clasa 1,5 N, cuarțos III; PL. 0,8; GM51, STAS 5609-73), bentonită de Valea Chioarului (3%) și apă (4 . . . 6%), din care s-au confecționat atît forme clasice (crude), cît și forme criogene (fig. 3.14); experimentările au urmărit atît studiul termodinamicii înghețării, cît și analiza influenței vitezei de răcire la solidificare (obținută în forme clasice și criogene) asupra caracteristicilor aliajelor de turnătorie și în special a fontei cenușii cu grafit lamelar, care este recunoscută prin marile sale disponibilități tehnologice datorită ridicatei sensibilități structurale pe care o prezintă.

În fig. 3.15 este prezentat gradientul termic obținut în peretele formei înghețate; se observă că după 420 s se obțin temperaturi între 185 . . . . . 240 K pe grosimi de 40 mm amestec.

* În diferitele faze ale cercetărilor experimentale au participat și ing. F. BADEA, Dr. ing. M. CHIȘAMERA și ing. I. MĂRGINEAN de la I. P. București.

Scanned with OKEN Scanner

În fig. 3.16 se indică poziția gradientului termic pentru amestecurile cercetate, la o distanță de 20 mm față de peretele compartimentului refrigerator; s-a considerat ca satisfăcătoare, pentru continuarea cercetărilor, rețeta R2 (100% nisip Aghireș și 6% apă).

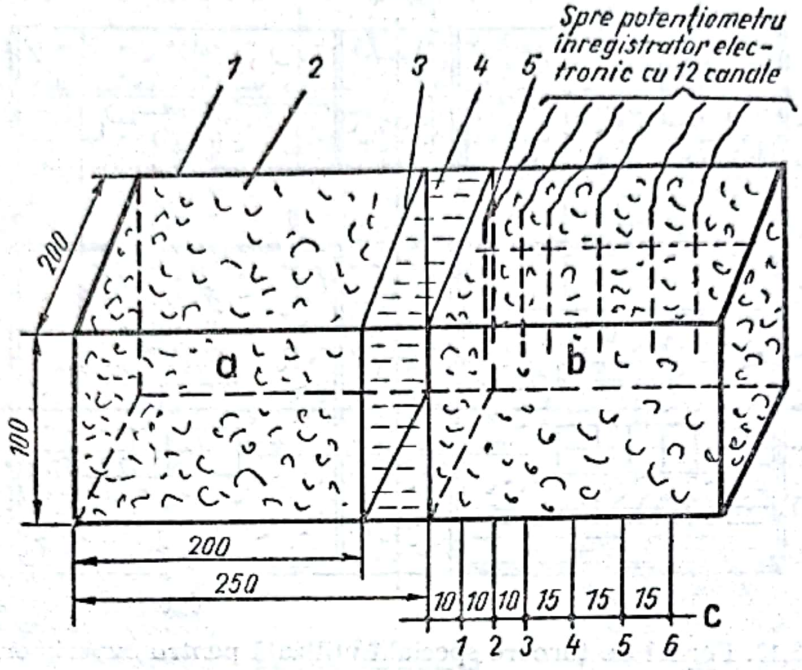


Fig. 3.14. Montaj experimental:
1 — material termoizolant (azbest și polistiren); *2* — amestecul de formare cercetat (R_1=nisip 100% și apă 4%; R_2=100% nisip și apă 6%; R_3=nisip 97%; apă 6% și bentonită 3%); *3* — compartiment pentru agentul refrigerent (azot lichid); *4* — agentul refrigerent; *5* — termocuple CROMEL—ALUMEL; *a*, *b* — semiforme; *c* — modul de amplasare al termocuplelor.

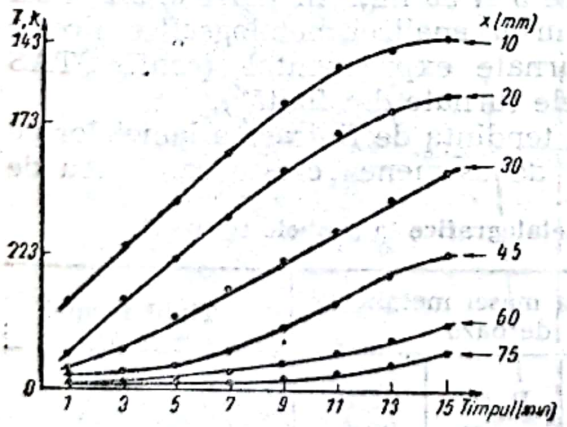


Fig. 3.15. Gradientul de temperatură pe grosimea de perete a formei criogene experimentale, studiate (amestec tip R_1).

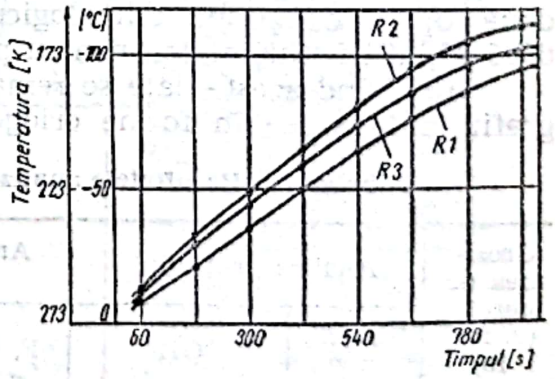


Fig. 3.16. Gradientul de temperatură, la 20 mm față de peretele compartimentului refrigerator, pentru cele trei rețete de amestec de formare cercetate.

În fig. 3.17 se prezintă forma experimentală în care s-au turnat probe tip pană (60×18×60) mm și tip treaptă (155×45×5÷50) mm din fontă cenușie Fc 200 (C=3,55%, Si=2,48%, Mn=0,36%, S=0,029% și P=0,150%); pentru fiecare formă s-au consumat ~4 l azot lichid.

Scanned with OKEN Scanner

În fig. 3.18 sînt prezentate comparativ microstructurile probelor tip pană obținute la turnarea în formă clasică (la crud) și în formă criogenă (același tip de amestec); similar, în fig. 3.19 rezultatele obținute la turnarea probelor tip treaptă.

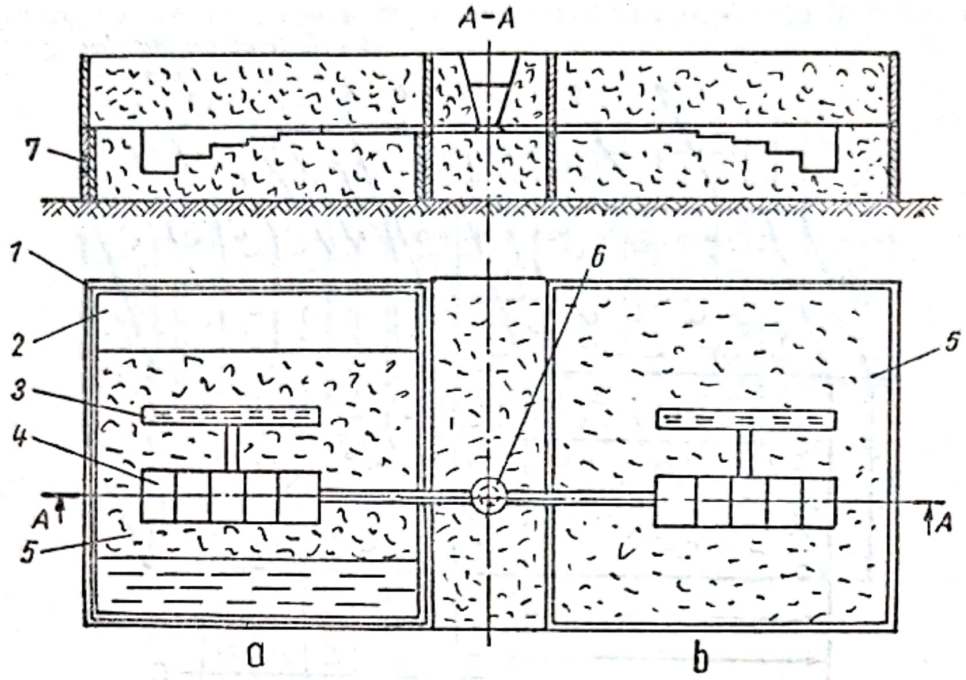


Fig. 3.17. Formă de turnare specială utilizată pentru experimentări:
1 — cutie metalică; *2* — compartiment refrigerator cu azot lichid; *3* — proba tip pană; *4* — proba tip treaptă; *5* — amestec de formare tip R_2 (100% nisip și 6% apă); *6* — rețeaua de turnare; *7* — izolație termică (placă de azbest); *a* — formă de turnare criogenă; *b* — formă de turnare clasică (la crud).

Cele două tipuri de probe utilizate au permis modelarea condițiilor de solidificare ale fontei, în forme obișnuite (clasice, crude) și speciale, criogene, pentru grosimi de perete între 5 și 50 mm; în tabelele 3.1 și 3.2 sînt prezentate rezultatele obținute în urma analizei metalografice a celor două tipuri de probe tehnologice turnate experimental (conf. STAS 6905-87, „Structuri etalon pentru piesele turnate din fontă").

Analizînd aceste date se remarcă tendința de finisare a lamelelor de grafit la turnarea în forme criogene; de asemenea crește cantitatea de

Tabelul 3.1 **Rezultatele analizei metalografice la probele tip pană**

Grosimea de perete (v. fig. 18)	Analiza grafitului		Analiza masei metalice de bază			Tipul formei
	% G	GL	F, %	P, %	C, % (K liberă)	
S 1	5	GL 2	—	100	40	Formă crudă, amestec clasic
S 2	10—15	GL 6	10—30	70—90	5	
S 2	10—15	GL 6	30—50	50—80	—	
S 1	5	Gl 1 — GL 2	—	100	40	Formă criogenă înghețată, cu N_2 lichid
S 3	10—15	GL 6 — GL 4	50—70	30—50	—	
S 3	10—15	Gl 6 — Gl 4	50—70	30—50	—	

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 3.2. **Rezultatele analizei metalografice la probele tip treaptă**

Grosimea de perete, în mm	Analiza grafitului		Compoziţia masei metalice de bază			Tipul formei
	% G	GL	F, %	P, %	C, % (K liberă)	
10	10	GL 5—GL 6	10—30	70—80	—	Formă crudă, amestec clasic
15	10—15	Gl 6	30—50	50—70	—	
25	10—15	GL 7	30—50	50—70	—	
35	10—15	GL 7	30—50	50—70	—	
50	15	GL 7	70—90	10—30	—	
10	10	GL 5—GL 6	30—50	50—70	—	Formă îngheţată
15	10—15	GL 6	30—50	50—70	—	
25	10—15	GL 7	30—50	50—70	—	
35	10—15	GL 7	30—50	50—70	—	
50	15	GL 7	70—90	10—30	—	

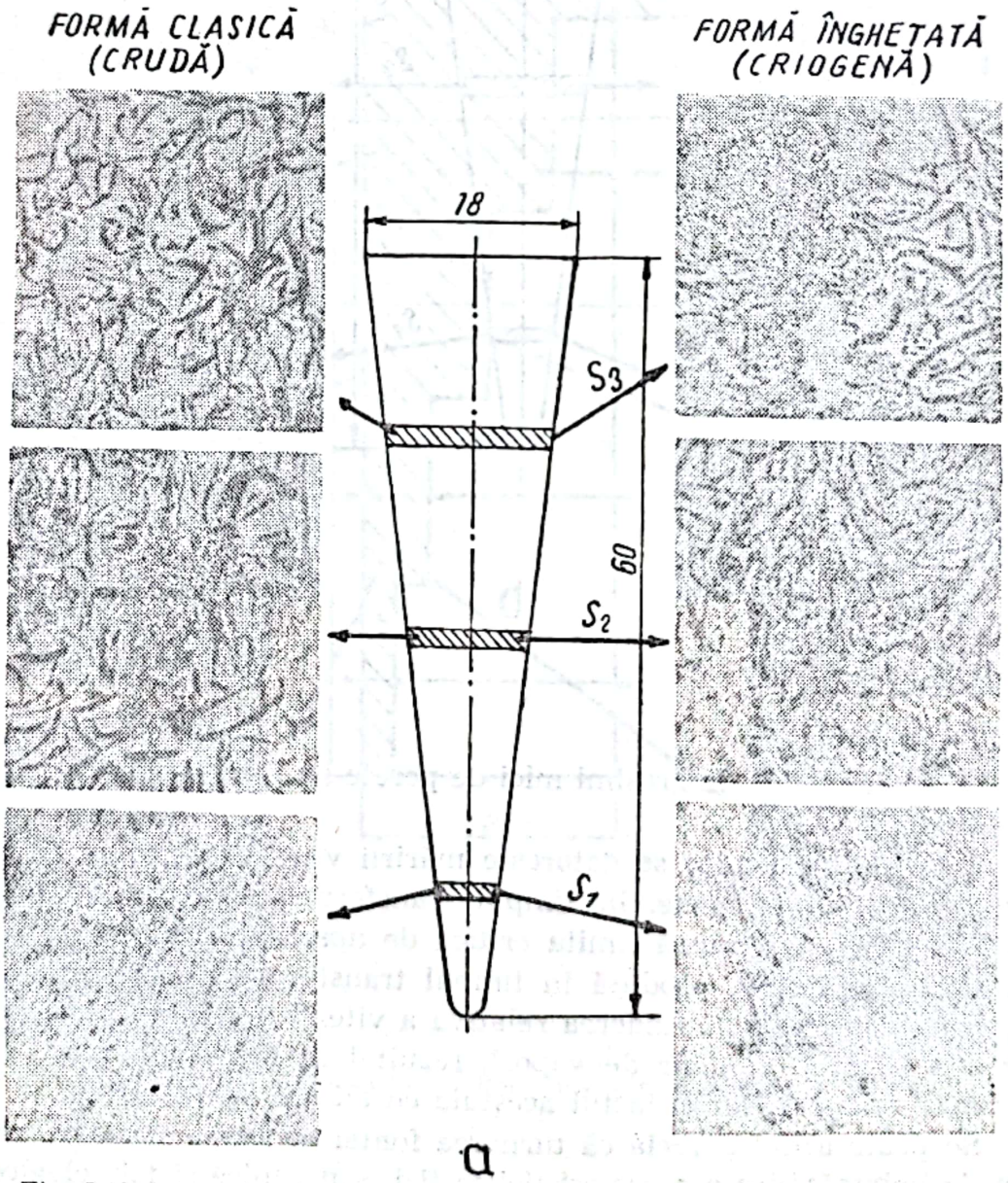
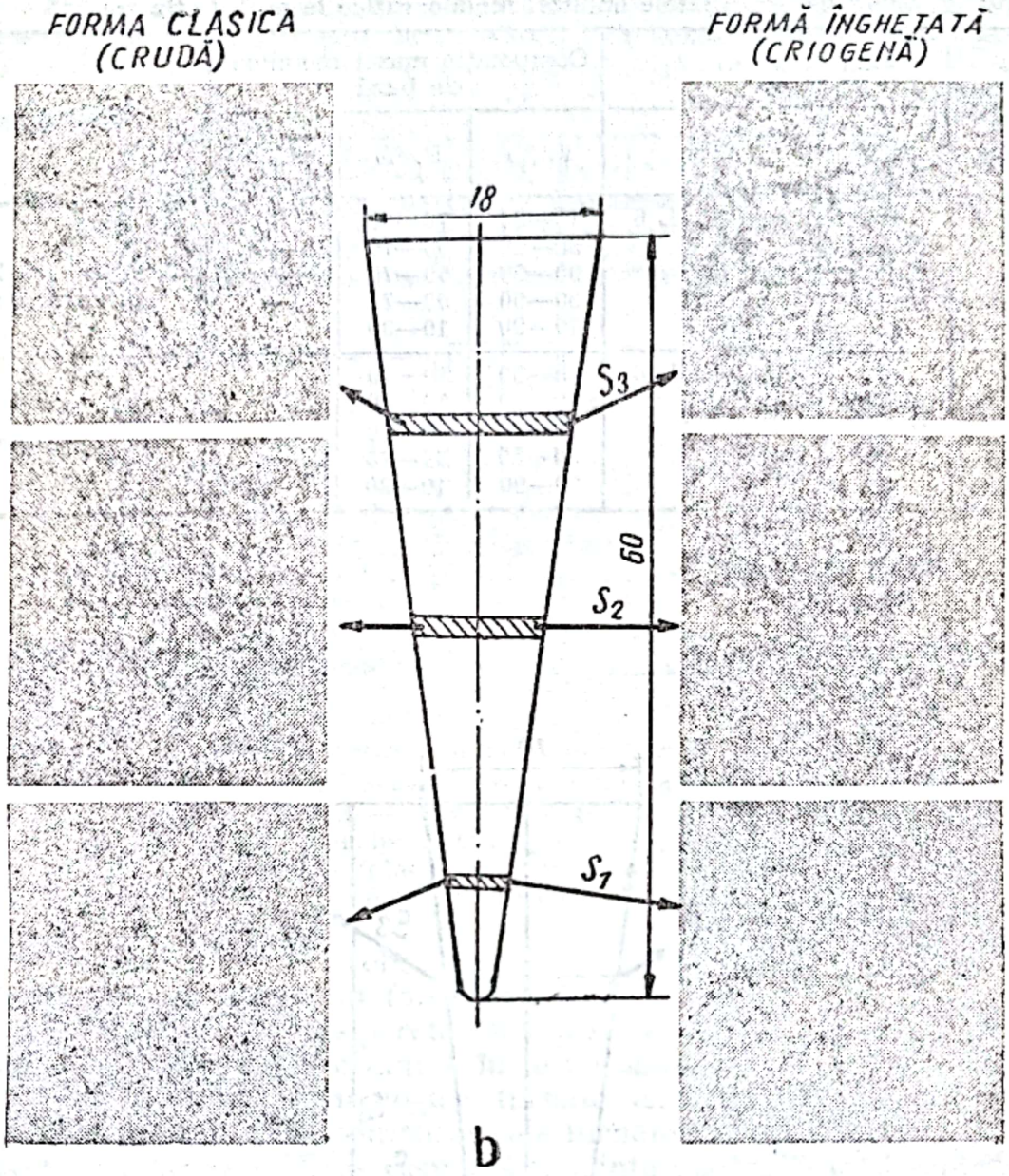


Fig. 3.18. Microstructurile probelor tip pană turnate în formă crudă (*a*) şi în formă criogenă (*b*) (acelaşi amestec).

Scanned with OKEN Scanner



ferită din structură și la grosimi mici de perete se elimină apariția cementitei libere.

Finisarea grafitului se datorește măririi vitezei de răcire, la solidificarea în forme criogene, în timpul transformării primare eutectoide, fără însă să se depășească limita critică de apariție a cementitei libere; tendința de feritizare, produsă în timpul transformării secundare eutectice, este explicată prin scăderea relativă a vitezei de răcire, ca urmare a prezenței filmului izolator de vapori, rezultat în urma sublimării gheții din forma criogenă, la contactul acestuia cu aliajul lichid turnat.

Se poate astfel aprecia că turnarea fontei în forme criogene are un efect de îmbunătățire a caracteristicilor fizico-mecanice și tehnologice ale acesteia.

Scanned with OKEN Scanner

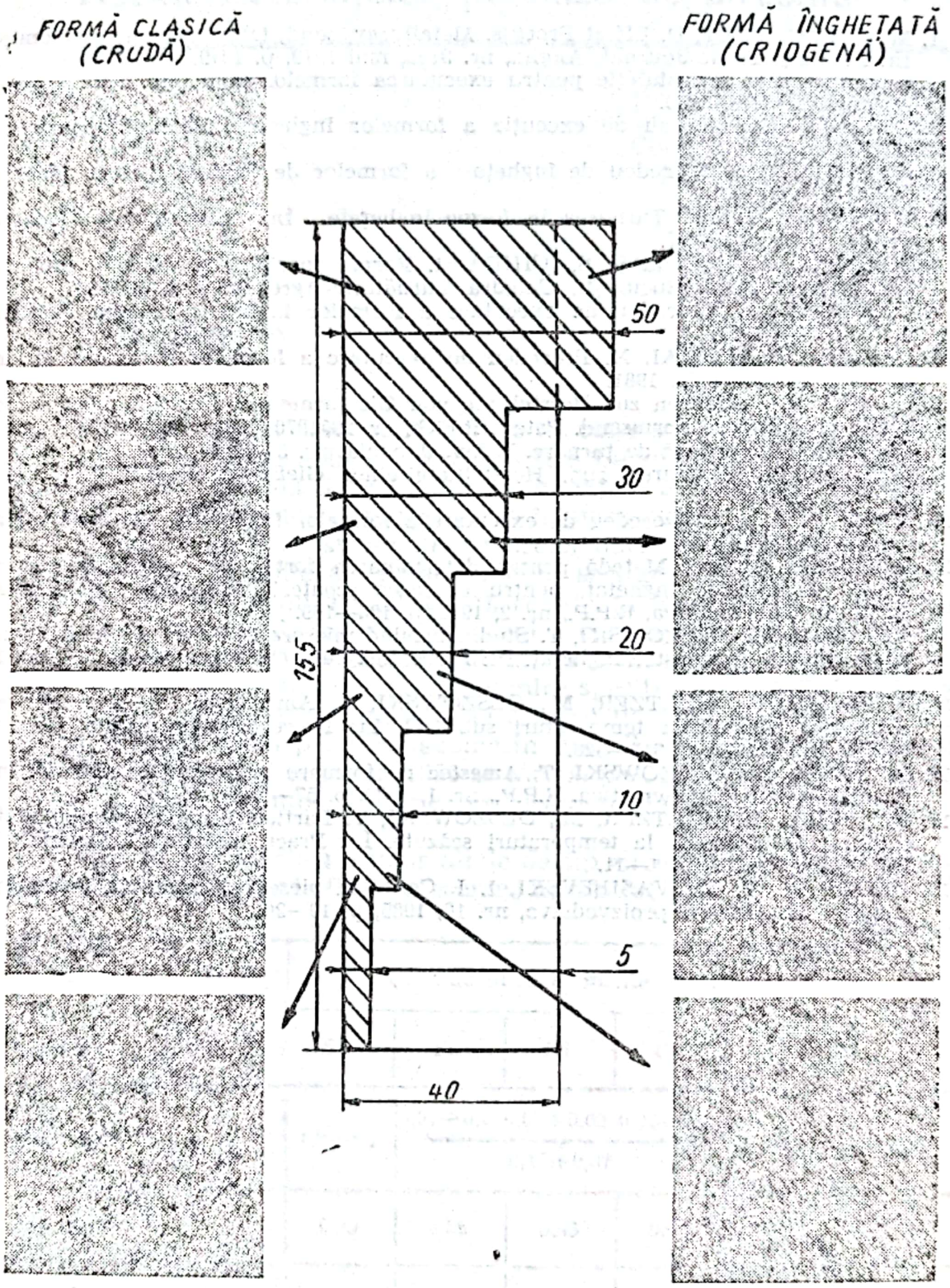


Fig. 3.19. Microstructurile probelor turnate în formă tip treaptă.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. MOORE, C., BEET, D. Effset Process. Metallurgy, sand, tehnology and economics. În: Foundry Trade Journal, Anglia, nr. 3162, mai 1979, p. 1049.
2. NAKASHIMA, J. Instalație pentru executarea formelor înghețate. Patent Japonia, nr. 53-73423, 1980.
3. HIRANO, H. Procedeu de execuție a formelor înghețate. Patent Japonia, nr. 55-80441, 1982.
4. NAGAO, S., ș.a. Procedeu de înghețare a formelor de turnare. Patent Japonia, nr. 54-81842, 1981.
5. GRUZMAN, V. M. Turnarea în forme înghețate. În: Liteinoe proizvodstvo, nr. 10, 1982, p. 15—17.
6. SOFRONI, L., COCOLAȘ, S., CHIRA, I. Forme speciale de turnare criogene. Studiu de sinteză. București, Catedra Turnătorie-Agregate (I.P.B.), 1987.
7. OHASI, I., ș.a. Procedeu de executare a formelor înghețate. Patent Japonia, nr. 55-58147, 1981.
8. NAKANO, Y., KANAI, X. Procedeu de executare a formelor înghețate. Patent Japonia, nr. 55-58365, 1981.
9. LICHTI, H. Verfahren zur Herstellung von Gießformen aus rieselfähigen Formstaff imbersondere Formsand. Patent R.F.G., nr. 2951370, 1981.
10. UNOSAKI, T. Metodă de turnare. Patent Japonia, nr. 57-22844, 1982.
11. REBHAN, D. Verfahren zum Herstellung einer Gießform. Patent R.F.G., nr. 2912201, 1980.
12. NAGURA, T., ș.a. Procedeu de executare a formelor înghețate. Patent Japonia, nr. 53-158239, 1980.
13. HOLTZER, M., ș.a. Metodă pentru determinarea forței de desprindere dintre model — amestec înghețat, pentru ușurarea scoaterii modelului. În: Prache Instytutu Odlewnictwa, R.P.P., nr. 2, 1980, p. 153—169.
14. HOLTZER, M., OLSZOWSKI, T. Studiu privind micșorarea forței de desprindere dintre model — amestec înghețat. În: Prace Instytutu Odlewnictwa, R.P.P., nr. 3, 1980, p. 213—221.
15. BILEWSKI, A., HOLTZER, M., OLSZOWSKI, T. Amestecuri de formare cu rezistență ridicată la temperaturi sub 0°C. În: Prace Instytutu Odlewnictwa, R.P.P., nr. 4, 1980, p. 317—326.
16. HOLTZER, M., OLSZOWSKI, T. Amestec de formare cu umiditate scăzută. În: Prace Instytutu Odlewnictwa, R.P.P., nr. 1, 1980, p. 57—75.
17. BALINSKI, A., HOLTZER, M., OLSZOWSKI, T. Particularitățile schimbului de căldură ale formelor la temperaturi scăzute. În: Prace Instytutu Odlewnictwa, R.P.P., nr. 1, 1982, p. 1—11.
18. GRUZMAN, V. M., VASILEVSKI, I. I. Calitatea pieselor turnate în forme înghețate. În: Liteinoe proizvodstvo, nr. 10, 1985, p. 19—20.

Scanned with OKEN Scanner

4.
Aşchierea aliajelor pe bază de zirconiu

Asist. ing. *Achim Muntean*
Şef lucr. dr. ing. *Dan Brîndaşu*
Conf. dr. ing. *Valeriu Deac*
Asist. ing. *Dan Cernuşcă*
Institutul de Subingineri Sibiu

1. Introducere

Zirconiul a fost descoperit în 1899 de către savantul M. H. Klaproth, dar separat ca metal abia în 1924 de către Berzelius. Folosirea sa în industrie a fost posibilă doar în a doua jumătate a secolului XX datorită greutăţilor întîmpinate la extragerea sa în stare pură.

Folosirea sa la construcţia reactoarelor nucleare se bazează pe cîteva proprietăţi remarcabile ale acestui metal: secţiune de captură a neutronilor termici foarte mică (0,18 barn), rezistenţă foarte bună la coroziune în mediu reactorului, rezistenţă mecanică compatibilă cu a oţelurilor şi păstrarea acesteia sub efectul iradierii, la temperaturi medii, mai ales sub forma de aliaje tip zircaloy (denumire specifică utilizărilor nucleare).

Prima folosire a acestui aliaj la construcţia unui reactor a fost semnalată la construirea primului submarin (Nautilus) cu propulsie nucleară în 1952 [1]. Începînd din anul 1956 se începe producţia industrială, actualmente existînd în lume 4 firme producătoare de burete de zirconiu de calitate nucleară.

Compoziţia chimică a unor aliaje de tip zircaloy este redată în tabelul 4.1 şi caracteristicile fizico-mecanice în tabelul 4.2.

Tabelul 4.1

Conţinutul / Tipul aliajului	Conţinutul în elemente de aliere					HB
	Sn	Fe	Ni	Cr	Nb	
Zircaloy-2	1,2÷1,7	0,07÷0,2	0,03÷0,08	0,05—0,15	—	200
		0,17÷0,37				
Zircaloy-3	0,25	0,25	0,05	0,05	—	—
Zircaloy-4	1,2÷1,7	0,17÷0,24	—	0,07÷0,3	—	200
Ozenit ZrNb	0,25	0,1	0,1	—	2,5	—

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.2

Nr. crt.	Denumirea	U/M	Zr pur	Zircaloy 2	Zircaloy 4	Observaţii
1	Rezistenţa la rupere	MPa	354 171	1 180 868	907 422	r. 250°C
2	Rezistenţa la curgere	MPa	110 56	945 559	564 251	r. 250°C
3	Modul de elasticitate longitudinal	MPa	$9{,}1\times10^4$		—	—
4	Modul de elasticitate transversal	MPa	$3{,}4\times10^4$		—	—
5	Alungirea	%	20÷35		—	—
6	Gituirea	%	32		—	—

Studiile anterioare [1, 3, 4] s-au ocupat de prelucrarea prin aşchiere a unor aliaje de zirconiu punînd în evidenţă unele aspecte ale durabilităţii sculei şi a relaţiei Taylor în cazul aşchierii materialelor pe bază de zirconiu.

Utilajul folosit la efectuarea încercărilor este format din: strung normal SN 250, cuţit de strung cu plăcuţă amovibilă, rugozimetru model 252 A (U.R.S.S.), dinamometru special, punte tensiometrică şi înregistrator *X-Y*. Semifabricatul a fost constituit dintr-o bară avînd diametrul de 80 mm şi lungimea 250 mm, din zircaloy — 2.

2. Încercări experimentale

Compoziţia chimică medie a aliajului zircaloy 2 utilizat în lucrare a fost determinată cu un aparat „KEVEX — SUPER QUALITAT" şi este următoarea: Sn=1,46%, Cr=0,086%, Fe=0,111% şi Ni=0,042% restul fiind zirconiu. Ţinînd seama de faptul că structura metalografică are o mare influenţă asupra aşchiabilităţii s-au executat probe metalografice care au relevat structura corespunzătoare.

Deoarece diagrama de echilibru a aliajului Zr-Sn prezintă o linie de solubilitate variabilă în stare solidă aliajul se pretează tratamentului termic de durificare prin îmbătrînire după o călire de punere în soluţie. Structura metalografică din fig. 4.1 este pentru starea de tratament în care materialul a fost primit, adică durificat prin îmbătrînire.

Măsurarea forţelor de aşchiere s-a făcut cu dinamometrul special, cu traductoare inductive. Dinamometrul măsoară forţa principală de aş-

Scanned with OKEN Scanner

chiere (F_y) și forța de avans (F_z), adoptarea acestei soluții bazîndu-se pe mărirea preciziei și a rugozității aparatului, astfel ca așchierea să se producă în condiții identice cu cele reale. Dinamometrul a fost etalonat cu ajutorul unor etaloane de forță verificate metrologic, iar lanțul de măsurare format din puntea tensometrică și înregistratorul X-Y au fost calibrate înainte de începerea măsurătorilor. Rezultatele măsurătorilor de forță sînt prezentate în tabelul 4.3.

Tabelul 4.3

Nr. crt.	Material prelucrat	Material sculă	Unghi de degajare	Viteză de așchiere m/min	F_y daN	F_z daN	t mm	f mm rot
1	Zircaloy-2	K 10	+5°	30,5	64,8	54,3	1,5	0,53
2	Zircaloy-2	K 10	+5°	53,3	67,0	61,2	1,5	0,53
3	Zircaloy-2	GM 15	—6°	24,4	92,8	72,5	1,5	0,53
4	Zircaloy-2	GM 15	—6°	22,8	77,5	43,5	1,5	0,53
5	Zircaloy-2	GM 15	+5°	15,25	65,7	80,6	1,5	0,53
6	Zircaloy-2	GM 15	+5°	24,4	70,6	91,5	1,5	0,53

Pentru materialul GM 15 forma plăcuței a fost patrată, iar pentru restul încercărilor forma a fost triunghiulară. Din analiza rezultatelor se observă următoarele: forța de așchiere (principală și de avans) crește odată cu creșterea vitezei; creșterea forței datorită unghiului de degajare negativ nu are o influență mare; lucru surprinzător pentru că micșorarea unghiului de degajare duce la deformații ale materialului așchiat mai mari și la forțe principale mai mari; forțele de avans au avut fluctuații mai mari decît forțele principale de așchiere; așchiile au fost oxidate mai mult în cazul geometriei negative, ca urmare a temperaturilor mai ridicate, iar la materialul K 10, avînd geometria pozitivă, așchiile au fost neoxidate chiar la viteze mai mari de așchiere.

O altă serie de încercări experimentale au fost executate pentru determinarea rugozității suprafeței așchiate, parametru cu o mare influență în cazul reperelor din centralele nuclearo-electrice, ținînd cont de fiabilitatea deosebită a suprafețelor acestor piese.

Pentru a avea o imagine cît mai bună asupra influenței diferiților factori ai procesului de așchiere asupra rugozității s-au folosit mai multe materiale de scule și diverse regimuri de așchiere.

În tabelul 4.4 sînt sintetizate rezultatele încercărilor experimentale efectuate pentru determinarea rugozității.

În paralel cu determinarea rugozității *Ra* și, respectiv, H_{max} și H_{min}, s-au efectuat și înregistrări ale profilului avînd următoarele caracteristici: amplificarea verticală 5 000; amplificarea orizontală 50; filtrul trece jos 0,08; filtrul trece sus 2,5; traductorul aparatului K 10.

În fig. 4.1 sînt redate două înregistrări reprezentative.

3. Interpretarea rezultatelor

Pentru a putea găsi ordinea de influență a parametrilor f, v, r_ε asupra rugozității la prelucrarea aliajului zircaloy-2, și, de asemenea, pentru aflarea valorilor centrale pentru fiecare parametru s-a apelat la un

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.4

Nr. crt.	Materialul sculei	Geometrie sculă (Tipul de plăcuțe)	Regim așchiere			Ra µm	H_{max} µm	H_{min} µm
			t mm	f mm/rot	v m/min			
1	Rp 3	$\alpha = 7°$ $\gamma = 21°$ $\varkappa_r = 43°$ $r_\varepsilon = 1$ mm	0,5	0,12	11,0	1,19		
2					17,3	0,95		
3					23,5	0,94		
4					30,0	0,96		
5					39,2	0,97		
6					47,12	1,03		
7	K 10	$\alpha = 6°$ $\gamma = 6°$ $\varkappa_r = 45°$ $r_\varepsilon = 0,8$ TPUN 110308	0,5	0,12	11,0	0,65		
8					23,5	0,79		
9					29,8	0,69		
10					36,3	0,77		
11					43,9	0,76		
12					53,4	0,91		
13	K 10		0,5	0,05	63,3	0,84	2,85	3,32
14				0,1		1,11	3,41	3,69
15				0,2		1,51	5,05	4,83
16	P 10		0,5	0,05	63,3	1,12	2,11	5,79
17				0,05		0,68	2,48	1,91
18				0,05		1,01	3,31	4,00
19				0,2		2,05	6,55	3,97
20	GM 15	TPUN 110304 $\alpha = 6°$ $\gamma = 5°$ $\varkappa_r = 45°$	0,5	0,05		1,16	4,01	3,22
21				0,1		1,14	2,80	3,88
22				0,2		3,49	4,49	5,35

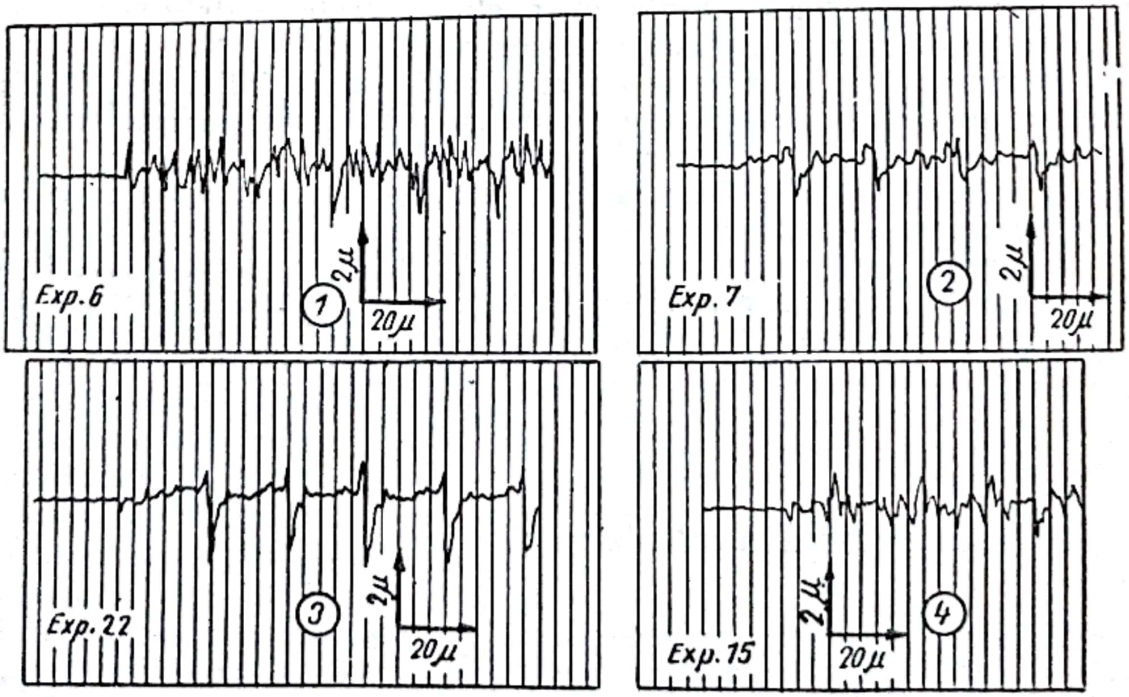


Fig. 4.1. Înregistrări de rugozitate.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 4.5

Parametrul		Valorile		
		Nivele		
Real	Codificat	—1	0	1
Raza	x_1	0,4	0,8	1
Avans, f	x_2	0,05	0,1	0,12
Viteza, v	x_3	29,8	44	63,3
Material	x_4	1	2	3

program bilanț aleatoriu (tabelului 4.5) al variabilelor și al nivelelor de variație:

Pentru material s-a considerat: *1* — oțel rapid Rp 3; *2* — carburi metalice P 10; *3* — carbură metalică GM 15 cu acoperire de carbonitrură de titan.

Matricea de experimentare este cuprinsă în tabelul 4.6.

Ordinea de influență rezultată în urma efectuării programului bilanț aleatoriu este următoarea:

1 — avansul, x_2 în mm/rot; 2 — raza la vîrf x_1 în mm; 3 — materialul sculei x_4; 4 — viteza de așchiere, x_3 în m/min.

Tabelul 4.6

Nr. crt.	x_1 mm	x_2 mm/rot.	x_3 m/min	x_4 material	Y Ra, μm
1	0,4	0,05	29,8	1	1,12
2	0,8	0,05	63,3	2	1,01
3	1,0	0,12	44,0	3	0,97
4	0,4	0,12	29,8	1	1,14
5	0,8	0,10	63,3	2	1,11
6	1,0	0,10	44,0	3	1,05

Se remarcă faptul că materialul sculei are o influență mai mare asupra rugozității decît viteza de așchiere, rezultat explicat și prin faptul că geometria sculei din oțel rapid este diferită de cea a sculelor din carburi metalice.

Pe bazele rezultatelor experimentale obținute se poate obține o relație cu valabilitate restrînsă la domeniul abordat, din care să rezulte dependența rugozității de parametrii variabili folosiți.

Se poate scrie rugozitatea sub forma:

$$Ra = C f^{x_1} r_\varepsilon^{x_2}, \tag{1}$$

unde C este o constantă care depinde de condițiile de lucru și de unitățile de măsură folosite; f — avansul în mm/rot; r — raza la vîrf a sculei în mm.

Logaritmul expresiei (1) se obține:

$$\ln Ra = \ln C + x_1 \cdot \ln f + x_2 \cdot \ln r_\varepsilon. \tag{2}$$

Scanned with OKEN Scanner

Înlocuind în relația (2) mediile rezultatelor experimentale se poate obține un sistem cu 3 ecuații cu trei necunoscute (ln C, x_1 și x_2) avînd forma:

$$\ln 0{,}96 = \ln C + x_1 \cdot \ln 0{,}8 + x_2 \cdot \ln 0{,}05;$$
$$\ln 1{,}04 = \ln C + x_1 \cdot \ln 1 + x_2 \cdot \ln 0{,}1; \qquad (3)$$
$$\ln 2{,}35 = \ln C + x_1 \cdot \ln 0{,}4 + x_2 \cdot \ln 0{,}2.$$

Rezolvînd sistemul (3) pe un calculator TIMS se obțin soluțiile:

$C = 2{,}57466$; $x_1 = -0{,}28073$; $x_2 = 0{,}46529$.

Cu aceste valori se obține relația pentru rugozitate:

$$Ra = 2{,}57466 r_\varepsilon^{-0{,}28073} f^{0{,}46529}. \qquad [\mu m] \qquad (4)$$

În fig. 4.2 (a, b) sînt trasate graficele de variație ale rugozității cu avansul (fig. 2, a) și cu viteza (fig. 2, b) pentru materialele sculelor folosite.

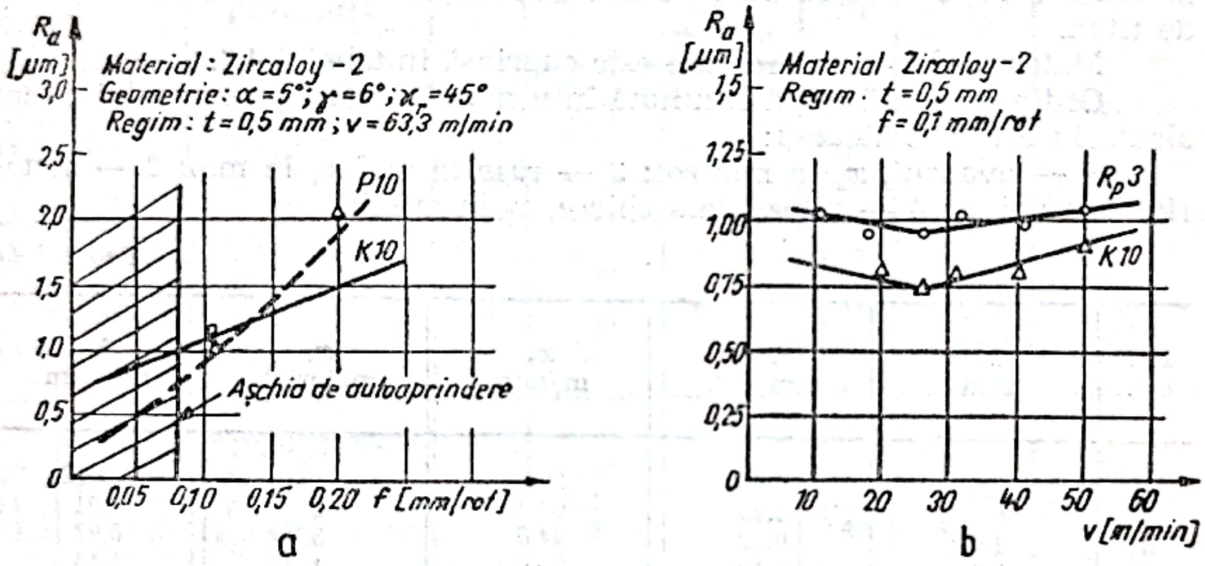


Fig. 4.2. Variația rugozității.

4. Concluzii

Din încercările experimentale efectuate precum și din analiza datelor experimentale se pot trage următoarele concluzii:

1. rugozitatea suprafeței la zircaloy-2 este bună și foarte bună la prelucrarea cu scule din carburi metalice sau oțel rapid;

2. folosirea avansurilor de lucru sub 0,075 m/min a dus la aprinderea așchiilor, deci se vor evita aceste avansuri din motive de producere de incendii;

3. materialul de sculă cel mai indicat a rezultat a fi carbura metalică K 10; la materialul P 10 rugozitatea este cu foarte puțin mai mare, iar la carbura GM 15 se observă o creștere marcată a rugozității cu creșterea avansului;

4. forțele de așchiere sînt mai reduse decît la oțelurile de construcție;

5. relația obținută pentru rugozitate este utilizabilă practic pentru strunjirea de finisare cu carburi metalice din categoria K 10;

6. pentru determinarea materialului optim din punct de vedere al compatibilității și al gradului de contaminare al piesei trebuie executate încercări suplimentare.

BIBLIOGRAFIE

1. ARMAND, M., CHARQUET, D., SYRE, R., TRICOT, R. *Le zirconiumet, ses applications a l'industrie nucléaire.* În: Revue de Metallurgie, nr. 8—9, 1977.
2. DUMITRAȘ, C. și MILITARU, C. *Așchierea metalelor și fiabilitatea sculelor așchietoare.* București, Editura Tehnică, 1983.
3. KRONENBERG, M. *Grundzuge der Zerspanungslehre,* vol. II., Berlin—Götingen—Heidelberg, New-York Springer, 1969.
4. SCHULSON, E. M. și NORMAN D. M. *The Machinability of a High Strength Zirconium* 8,6 Wt%, *Aluminium Alby:* Tool-life curves. În: Journal of Engineering for Industry, vol. 102/28, Febr. 1980.
5. * * * Prospectele firmei Teledyne — Wah — Chang, Oregon, U.S.A.

Scanned with OKEN Scanner

5.
Calculul vitezei de curgere a electrolitului și a concentrației hidrogenului la prelucrarea electrochimică

Dr. ing. *Georgeta Cuculeanu*
Academia de Studii Economice

Prelucrarea electrochimică se bazează pe dizolvarea anodică a materialului piesei de prelucrat, datorită proceselor de schimb de sarcină electrică și de masă ce au loc în spațiul de lucru între electrolit și electrozi (electrodul-sculă și electrodul-piesă) în prezența cîmpului electric.

Electrolitul, care este o soluție apoasă de săruri sau acizi, disociază, sub influența cîmpului electric, potrivit reacțiilor

$$H_2O \rightarrow OH^- + H^+ \qquad (1)$$

$$(R_A)_{n1}(R_c)_{n2} \rightarrow n_1 R_A^{z_1-} + n_2 R_c^{z_2+},$$

unde $R_A^{z_1-}$ este radicalul anionic, iar $R_c^{z_2+}$ este radicalul cationic. Ionii formați se îndreaptă, sub acțiunea forțelor electrostatice, spre electrozii de semn contrar, asigurînd conductibilitatea electrolitului.

O parte din radicalii hidroxil, OH^-, se îndreaptă spre anod, unde, după pierderea sarcinii electrice, se unesc formînd apa și oxigenul gazos. O altă parte reacționează cu ionii $R_c^{z_2+}$ și formează hidroxidul $R_c(OH)_{z_2}$. La anod are loc și trecerea metalului din materialul piesei în soluție sub formă de ioni Me^{z+} producînd dizolvarea anodică. Ionii metalului reacționează cu radicalii $R_A^{z_1-}$ existenți în soluție și formează sarea $Me_{z_1}(R_A)_z$, care reacționează în continuare cu baza $R_c(OH)_{z_2}$ regenerînd substanța electrolitică. În urma procesului de regenerare a substanței electrolitice apar hidroxizi ai metalului. O parte din aceștia sînt insolubili și rămîn în electrolit.

Ionii de hidrogen rezultați din disocierea apei se îndreaptă spre catod unde se descarcă și formează hidrogenul molecular degajat sub formă de bule.

Reacția globală care are loc în spațiul de lucru este:

$$Me + ZH_2O = Me(OH)_Z + \frac{Z}{2} H_2. \qquad (2)$$

Produsele rezultate la electrozi se acumulează în zonele acestora producîndu-le polarizarea, moment în care procesele de schimb de sarcină electrică și de masă între electrolit și anod încetează. Pentru continuarea lor, polarizația trebuie înlăturată, iar cîmpul electric menținut constant. La prelucrarea electrochimică polarizația se înlătură hidrodinamic. Parametrii curgerii electrolitului — viteza și presiunea — au o deosebită importanță pentru precizia prelucrării. Cunoașterea valorilor lor este esențială pentru proiectarea instalațiilor de prelucrat electrochimic.

Scanned with OKEN Scanner

Pentru calcularea vitezei de curgere a electrolitului prin spațiul de lucru se folosește teoria generală a stratului limită laminar. Forma suprafețelor pieselor prelucrate electrochimic fiind oarecare, ecuațiile vor fi scrise într-un sistem de coordonate curbilinii triortogonale. Coordonatele acestuia sînt: curba generatoare a suprafeței de prelucrat, s, curba directoare a aceleiași suprafețe, m și normala comună celor două curbe, n (fig. 5.1). În sistemul de coordonate considerat, ecuațiile teoriei generale a stratului limită laminar sînt:

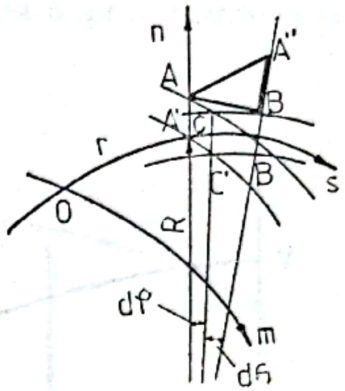


Fig. 5.1.

$$\frac{1}{H_k} V \frac{\partial V}{\partial s} + W \frac{\partial V}{\partial n} + \frac{1}{H_m} Z \frac{\partial V}{\partial s} + \frac{1}{H_s H_m}\left(VZ \frac{\partial H_s}{\partial m} - \right.$$

$$\left. - Z^2 \frac{\partial H_m}{\partial s}\right) = -\frac{1}{\rho e} \frac{1}{H_s} \frac{\partial P}{\partial s} + \nu \frac{\partial^2 V}{\partial n^2};$$

$$\frac{1}{H_s} V \frac{\partial Z}{\partial s} + W \frac{\partial Z}{\partial n} + \frac{1}{H_m} Z \frac{\partial Z}{\partial n} + \frac{1}{H_s H_m}\left(VZ \frac{\partial H_m}{\partial s} - V^2 \frac{\partial H_s}{\partial m}\right) =$$

$$= -\frac{1}{\rho e} \frac{1}{H_m} \frac{\partial p}{\partial m} + \nu \frac{\partial^2 Z}{\partial n^2};$$

$$\frac{\partial W}{\partial n} + \frac{1}{H_s H_m}\left[\frac{\partial (H_n V)}{\partial s} + \frac{\partial (H_s Z)}{\partial m}\right] = 0,$$

unde: V, W, Z reprezintă componentele vitezei de curgere după direcțiile s, n respectiv m; H_s, H_m, H_n — coeficienții lui Lamé după cele trei direcții: ρ_e — densitatea electrolitului; ν — vîscozitatea cinematică a electrolitului; P — presiunea electrolitului.

Coeficienții lui Lamé pentru acest sistem de coordonate au expresiile:

$$H_s = H_m = 1 + \frac{n}{R(n \cdot m)}; \quad H_n = 1, \tag{4}$$

unde $R(n, m)$ este raza de curbură a suprafețelor de prelucrat în punctul curent.

Rezolvarea ecuațiilor se face în condițiile inexistenței curgerilor secundare ($W = Z = 0$). Ca urmare variația vitezei de curgere, de-a lungul curbei generatoare, ce coincide cu direcția de curgere, este:

$$\frac{\partial V}{\partial s} = -\frac{1}{V \rho_e} \frac{\partial p}{\partial m}. \tag{5}$$

Soluția ecuației (5) se află în condiția de limită; la intrare în spațiul de lucru viteza de curgere a electrolitului este egală cu V_0. Această soluție reprezintă viteza de curgere a electrolitului ca funcție de s (generatoarea suprafeței de prelucrat) și are expresia:

$$V(s) = \sqrt{V_0^2 - \frac{2}{\rho_e} \frac{\partial P}{\partial m} s}. \tag{6}$$

Graficul funcției (6) are forma din fig. 5.2 și arată că viteza de curgere a electrolitului în spațiul de lucru descrește odată cu creșterea lungimii generatoare, deoarece cresc vîscozitatea cinematică a electrolitului și pierderile de sarcină ca urmare a măririi cantității de produse rezultate din reacțiile electrochimice. De aceea, pentru ca viteza de curgere

a electrolitului să aibă, în spațiul de lucru, o valoare suficient de mare, valoarea inițială a ei, V_0 este cuprinsă între 30 și 70 m/s. Prelucrarea electrochimică se desfășoară în camere de lucru, care prezintă, pentru paralelizarea liniilor de curent, înainte ca electrolitul să ajungă în spațiul de lucru, așa-numita „zonă de intrare" (fig. 5.3).

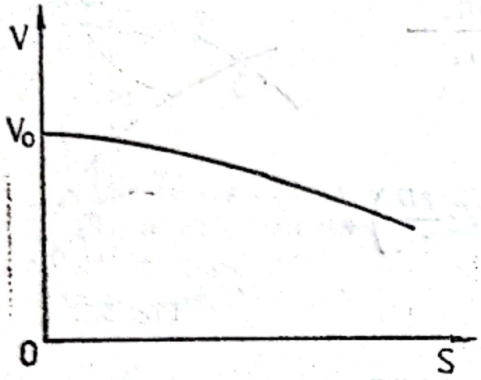


Fig. 5.2.

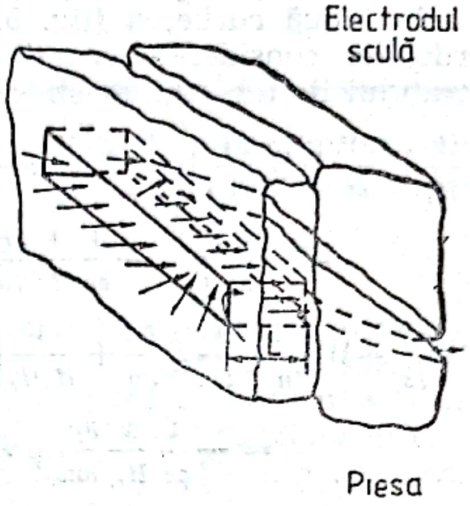


Fig. 5.3.

Secțiunea transversală a acestei zone care asigură curgere uniformă și productivitate mare este cea dreptunghiulară cu dimensiunile: înălțimea egală cu valoarea intervalului de lucru, h și baza egală cu lungimea directoarei suprafeței de prelucrat. Lungimea zonei de intrare, L, se recomandă să fie cuprinsă între $(70 \ldots 100)h$. Datorită existenței acestei zone, presiunea electrolitului se calculează cu relațiile:

$$P=\begin{cases} p_0 - 1{,}4\,\frac{1}{2}\rho_e V_0'^2 \text{ la intrare în „zona de intrare";} \\ p_0 - \left(1{,}4+1{,}5\delta\frac{s'}{2h}\right)\frac{1}{2}\rho_e V_0'^2 \text{ pentru } 0<s'\leqslant L; \\ p_0 - \left(1{,}4+1{,}5\delta\frac{L}{2h}\right)\frac{1}{2}\rho_e V_0'^2 - \delta\frac{s}{2h}\frac{1}{2}\rho_e V^2(s) \text{ în spațiul de lucru} \end{cases} \qquad (7)$$

unde: V_0' este viteza electrolitului la intrare în „zona de intrare"; δ este coeficientul pierderilor de sarcină.

Variația presiunii ca funcție de s este prezentată în fig. 5.4. Graficul arată scăderea presiunii pe măsură ce s crește. Datorită acestei scăderi, presiunea inițială a electrolitului, p_0, trebuie să aibă valori cuprinse între 15 și 20 daN/cm².

Deoarece viteza de curgere și presiunea electrolitului scad odată cu creșterea lui s, curgerea electrolitului în spațiul de lucru se desfășoară paralel cu dimensiunea cea mai mică a suprafeței de prelucrat. În cazul cînd ambele dimensiuni sînt relativ mari, electrolitul se introduce în spațiul de lucru prin mai multe puncte. Pentru compensarea scăderii presiunii, se creează o contrapresiune prin îngustarea orificiului de ieșire. Valoarea contrapresiunii se recomandă a fi cuprinsă între 5 și 6 daN/cm².

În funcție de ea se calculează înălțimea orificiului de ieșire a electrolitului din spațiul de lucru. Orificiul de ieșire trebuie să fie tot dreptunghiular, pentru ca liniile de curent să rămînă paralele pe întreaga supra-

Scanned with OKEN Scanner

față de prelucrat, crescînd precizia de prelucrare. Baza dreptunghiului este egală cu lungimea directoarei suprafeței de prelucrat. Tot pentru creșterea preciziei suprafeței prelucrate camerele de lucru trebuie prevăzute și cu „zonă de ieșire" de lungime egală cu cea a zonei de intrare.

Prelucrarea electrochimică este un proces staționar dacă intensitatea cîmpului electric este constantă. Aceasta se realizează prin menținerea intervalului de lucru, h, constant pe toată perioada prelucrării și prin creșterea vitezei de curgere a electrolitului. Pentru menținerea intervalului de lucru la aceeași valoare electrodul-sculă avansează continuu spre piesă cu o viteză egală cu viteza de dizolvare a materialului piesei calculată cu relația:

$$v_d = \frac{K(U-\Delta U)\varkappa}{h}, \qquad (8)$$

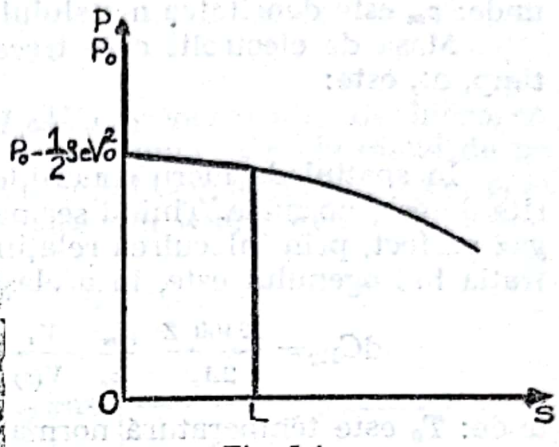


Fig. 5.4.

unde: K este echivalentul electrochimic al materialului de prelucrat, $gA^{-1}s^{-1}$; U — tensiunea aplicată electrozilor, v; ΔU — supratensiunea, V; $\varkappa$ — conductivitatea electrică a electrolitului în spațiul de lucru, Ω^{-1} cm^{-1}.

Conductivitatea electrică a electrolitului se modifică în timpul prelucrării datorită produselor rezultate din dizolvarea anodică și a temperaturii; produsele reacțiilor electrochimice o micșorează, iar creșterea temperaturii o mărește. Ca urmare conductivitatea electrolitului se calculează cu relația:

$$\varkappa = \varkappa_0(1+\alpha\Delta T - \beta C_{H_2} - \beta_1 C_{pa}), \qquad (9)$$

unde: $\varkappa_0$ reprezintă conductivitatea electrică inițială a electrolitului, Ω^{-1} cm^{-1}; α, β, β_1 — coeficienți care iau în considerare modificarea valorii conductivității electrice a electrolitului datorită temperaturii, hidrogenului, respectiv produselor anodice; ΔT — variația temperaturii în spațiul de lucru; C_{H_2} — concentrația hidrogenului în electrolit; C_{pa} — concentrația produselor anodice.

În timpul pelucrării electrochimice, concentrația hidrogenului ajunge suficient de mare, cînd influența lui asupra conductivității electrolitului nu mai poate fi compensată de creșterea temperaturii. De aceea este necesară cunoașterea acestei concentrații.

Concentrația hidrogenului, dC_{H_2}, în electrolitul care trece prin spațiul de lucru este egală cu raportul dintre volumul de hidrogen, dV_{H_2} degajat într-un interval de timp, dt și masa de electrolit, dm_e, care trece prin acest spațiu în același interval de timp:

$$dC_{H_2} = \frac{dV_{H_2}}{dm_e}\ [\text{cm}^3/\text{g}]. \qquad (10)$$

Volumul de hidrogen elementar degajat se determină din reacția de bilanț și este egal cu:

$$dV_{H_2} = \frac{22\,400 Z dm_m}{2A_m}\ [\text{cm}^3], \qquad (11)$$

unde: Z este valența metalului dizolvat; A_m — masa atomică a metalului dizolvat, g; dm_m — masa de metal elementară dizolvată, g.

Masa de metal elementară dizolvată cu viteza v_d în intervalul de timp dt, pe elementul de lungime ds, pentru o lungime l a directoarei suprafeței, este egală cu:

$$dm_m = \rho_m v_d l ds dt, \quad [g], \tag{12}$$

unde: ρ_m este densitatea metalului dizolvat, g/cm³.

Masa de electrolit care trece prin spațiul de lucru în intervalul de timp, dt, este:

$$dm_e = \rho_e V(s) h l dt, \quad [g] \tag{13}$$

În spațiul de lucru condițiile de desfășurare a prelucrării sînt diferite de cele normale. Ținînd seama de acest fapt și considerînd hidrogenul gaz perfect, prin înlocuirea relațiilor (9), (10) și (11) în relația (8), concentrația hidrogenului este, în același sistem de coordonate, soluția ecuației:

$$dC_{H_2} = \frac{22400\ Z}{2A_m}\ \frac{\rho_m}{\rho_e}\ \frac{V_d}{V(s)}\ \frac{T_0+\Delta T_1+\Delta T}{T_0}\ \frac{p_0}{p(s)}\ \frac{d_s}{h}, \quad \left[\frac{cm^3}{g}\right], \tag{14}$$

unde: T_0 este temperatură normală; ΔT_1 — variația temperaturii electrolitului înainte de intrare în spațiul de lucru față de temperatura normală; ΔT — variația temperaturii electrolitului în spațiul de lucru față de temperatură inițială.

După înlocuirea vitezei de dizolvare, vitezei de curgere, conductivității electrolitului și presiunii cu expresiile lor, se obține o ecuație diferențială cu variabile separabile, care se rezolvă în condiția la limită: la intrare în spațiul de lucru, concentrația hidrogenului este nulă. Soluția ecuației (14) reprezintă concentrația hidrogenului și are expresia:

$$C_{H_2} = \frac{1+\alpha\Delta T-\beta_1 C_{pa}}{\beta}\left\{1-e^{\frac{-\beta E}{\sqrt{\Delta}}\left[M+\frac{N}{b}\right]}\right\},$$

$$\text{unde: } M = \frac{1}{a}\ln\frac{\sqrt{V_0^2-\frac{2}{\rho e}\cdot\frac{\partial P}{\partial m}s}+aV_0-a}{\sqrt{V_0^2-\frac{2}{\rho e}\cdot\frac{\partial P}{\partial m}s}+aV_0+a};$$

$$N = \operatorname{arctg}\frac{\sqrt{v_0-\frac{2}{\rho e}\cdot\frac{\partial P}{\partial m}s}}{b}-\operatorname{arctg}\frac{V_0}{b}; \tag{15}$$

$$E = \frac{22400\ Z}{2A_m}\ \frac{\rho_m}{\rho_e}\ \frac{K(U-\Delta U)}{h^2}\ \frac{T_0+\Delta T_1+\Delta T}{T_0}\ p_0;$$

$$C_{H_2 max} = \frac{1+\alpha\Delta T-\beta_1 C_{pa}}{\beta}\left[1-e^{-\frac{\pi\beta E}{2b\sqrt{\Delta}}}\right].$$

$$\Delta = V_0^4-4\frac{A}{B}\ \frac{2}{\rho_e}\ \frac{\partial P}{\partial m}; \quad A = p_0-\left(1{,}4+0{,}5\delta\ \frac{L}{2h}\right)\frac{1}{2}\ \rho_e V_{1,0}^2 \tag{16}$$

$$B = \frac{\delta}{2h}\ \frac{1}{2}\rho_e; \quad a = \sqrt{(V_0^2+\sqrt{\Delta})/2}; \quad b = \sqrt{-(V_0^2-\sqrt{\Delta})/2}.$$

Graficul concentrației hidrogenului ca funcție de s este prezentat în fig. 5.5. El arată creșterea concentrației hidrogenului în electrolit odată

Scanned with OKEN Scanner

cu creşterea lungimii generatoarei suprafeţei de prelucrat. Valoarea maximă posibilă a concentraţiei hidrogenului degajat la catod în timpul prelucrării electrochimice este:

$$C_{H_2}\,max = \frac{1+\alpha\Delta T-\beta_1 C_{pa}}{\beta}\left[1-e^{\frac{-\pi\beta E'}{2b\sqrt{\Delta}}}\right]. \qquad (17)$$

Concluzii

La prelucrarea electrochimică rezultă o concentraţie de hidrogen mare în electrolit, deoarece se îndepărtează volume mari de metal de pe piesa de prelucrat. Pentru micşorarea volumului ocupat de hidrogen, presiunea p_0 a electrolitului trebuie să fie mare. Un volum mic de hidrogen determină o dizolvare uniformă pe toată suprafaţa de prelucrat, ceea ce duce la creşterea preciziei de prelucrare şi a productivităţii.

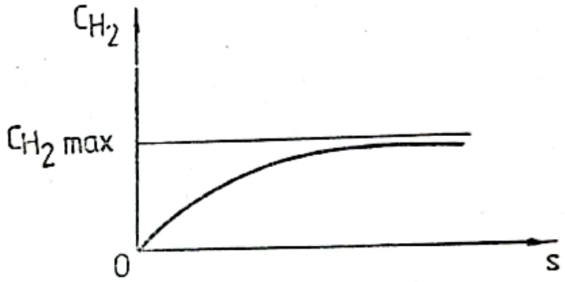


Fig. 5.5.

Pentru menţinerea constantă a vitezei de prelucrare, hidrogenul degajat trebuie eliminat rapid din spaţiul de lucru prin circularea electrolitului cu viteză mare. Deoarece viteza de curgere şi presiunea electrolitului descresc pe măsură ce dimensiunea suprafeţei de prelucrat paralelă cu direcţia curgerii creşte, valorile iniţiale V_0' şi p_0 trebuie să fie mari. De această descreştere se ţine seama la proiectarea camerelor de lucru, cînd se alege ca direcţie de curgere direcţia celei mai mici dimensiuni a suprafeţei de prelucrat.

Pentru creşterea preciziei de prelucrare camerele de lucru sînt prevăzute cu „zonă de intrare“ şi „zonă de ieşire“ dimensionate funcţie de parametrii curgerii, intervalul de lucru şi dimensiunile suprafeţei de prelucrat.

BIBLIOGRAFIE

1. BARR, A. E., OLIVER, D. A. *L'usinage électrochimique*, Paris, 1971.
2. MATEESCU, C. *Hidraulica*, Bucureşti, Editura Didactică şi Pedagogică, 1963.
3. KLOKOV, V. V., SMOLENTEV, V. P., LAPÎTOVA, R. M., PETROV, IU. V. În: *Electronnaia obrabotca materialoy*, nr. 3, 1969, pg. 28—34.
4. DIETZ, H., GÜNTHER, K. G., OTTO, K. În: C.I.R.P. General assembly, Tokyo, 1974.
5. CUCULEANU, G. *Gonstrucţii de maşini*, nr. 10, Bucureşti, 1984, p. 540.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

II

MODERNIZAREA FABRICAȚIEI ȘI PRODUSELOR

6.
Adaptabilitatea — principala caracteristică a sistemelor de fabricație moderne

Gheorghe Manea
Institutul de Economie Industrială

Principala caracteristică a sistemelor actuale de fabricație este capacitatea de adaptare rapidă la cerințele pieții, la modificările calității resurselor, la constrîngerile impuse de necesitatea protecției mediului înconjurător, la progresele științei ce se succed într-o cadență din ce în ce mai rapidă etc., adaptare care să permită sistemului să evolueze în condiții de eficiență economică.

Cu alte cuvinte, într-o lume în continuă schimbare, în care știința și tehnologia au devenit elementele motoare ale dezvoltării, cu supraofertă de produse și tehnologii pe piața mondială, cu distribuție inegală a resurselor naturale (și cu complicații de ordin financiar sau geopolitic de accesibilitate la aceste resurse), cu intercondiționări ample și profunde la nivel național și internațional, „... o întreprindere industrială nu are alt răspuns la aceste schimbări decît, fie să accepte — potrivit teoriei lui Darwin — riscul respingerii prin selecție naturală, fie să-și afirme — raliindu-se teoriei lui Lamark — voința de a evolua, adaptîndu-se la aceste schimbări sau anticipîndu-le".

Chiar dacă sistemele cu caracteristici adaptive au existat dintotdeauna în lumea vie, sistemele industriale cu comportament adaptiv au început să se impună, îndeosebi în anii '50, înaintea lor predominînd cele cu comportament static; în prezent se conturează tendința trecerii către sistemele evolutive care par a caracteriza organizarea industriei la sfîrșitul acestui mileniu și începutul celui următor. Prezentul material își propune să surprindă această evoluție în ce are ea specific spre a se evidenția principalele tendințe ce ar putea contura obiectivele programelor de modernizare a proceselor de fabricație din țara noastră.

Ca precizări naționale, procesul de fabricație include ansamblul procedeelor folosite pentru transformarea materiei prime și a semifabricatelor în produse finite. În structura sa (în care subsistemul tehnologic este esențial) se includ și subsistemele de comandă și control care îi conferă o comportare cibernetică. Această comportare asigură corecția abaterilor ce apar în funcționarea normală a sistemului, menținîndu-l pe o traiectorie prestabilită.

După felul cum în sistemele de fabricație se realizează corectarea perturbațiilor provenite atît din interiorul cît și din exteriorul sistemului, pot fi sesizate moduri diferite de reglaj, și în consecință, de comportament al sistemului. Astfel, reglajele cu reacție negativă sînt asociate activității de conducere pentru asigurarea stabilității unei traiectorii, sau a unor variabile, într-un anumit interval. Reglajele cu reacție pozi-

Scanned with OKEN Scanner

tivă asigură amplificarea unor mărimi (abateri) de intrare sau ieșire — sau din interiorul procesului — fiind asociate, de obicei, cu activitatea de generare a unei noi structuri a sistemului. Mărimea aleasă spre a fi amplificată este derivată din strategia de dezvoltare a sistemului.

Se consideră că într-un sistem cibernetic abaterile ce provin din mediul înconjurător sînt corectate în cadrul unui „reglaj", iar cele datorate cauzelor interne în cadrul unui „autoreglaj". Raportul dintre activitatea de reglaj și cea de autoreglaj determină comportarea sistemului: cu cît activitatea de reglaj este mai amplă — deci sistemul de fabricație include un volum mai mare de informații din amonte și aval de el — cu atît crește gradul de adaptare al sistemului, sau capacitatea lui ca, prin modificarea valorilor de funcționare, să se adapteze continuu mediului, fiind, în același timp, stabil în anumite limite.

Comportamentul sistemului depinde direct de obiectivele sale, de structura sa și de relația cu mediul înconjurător [3]. Conform concepției Organizației Națiunilor Unite*, comportamentul este dependent de sistemul științific și tehnologic și de sistemul social din care face parte.

Sistemele industriale sînt cibernetice, autoreglabile, numai în măsura în care în structura lor se integrează un factor de conducere, factor conștient de natură umană. Procesul de conducere se bazează pe cunoașterea cît mai completă a trecutului, prezentului și perspectivei fenomenelor, urmărindu-se concordanța continuă a obiectivelor cu resursele, utilizîndu-se informații atît cu caracter obiectiv cît și subiectiv în vederea fundamentării, adoptării și urmăririi deciziilor [5] de-a lungul evoluției sistemelor de fabricație.

Înzestrarea sistemelor clasice de reglaj cu capacitate de adaptare a apărut din necesitatea controlării unor procese asupra cărora nu există o informație apriorică completă; sistemele adaptive fiind receptive la o gamă mai largă de semnale externe pe care trebuie să le identifice și pe baza cărora să emită comenzi de modificare a algoritmului de reglare.

Sistemele de fabricație statice au baza informațională compusă, îndeosebi, din instrucțiuni de lucru, autoreglajul fiind principala sarcină a subsistemului de conducere. Informațiile din amonte și postproces de fabricație sînt slab reprezentate la nivelul conducerii, variabilele de nivel pentru funcționarea sistemului fiind stabilite din afara sistemului de fabricație (de exemplu, de instituții centrale, departamentale etc., pentru activități de planificare, aprovizionare, desfacere, investiții etc.). Răspunsul sistemului de fabricație la influențele din afara lui este lent, comparativ cu dinamica cerințelor din sfera produselor și serviciilor, sau cu progresele din domeniul științei și tehnologiei. Din acest ultim motiv, sistemele statice „asimilează" lent noutățile din domeniul științei și tehnologiei, fiind lipsite, de cele mai multe ori, de aportul sectorului de cercetare-dezvoltare propriu. Sistemele statice de fabricație sînt supuse, totuși, de către personalul de operare și conducere, unui proces de îmbunătățire și perfecționare (comparativ cu performanțele tehnico-economice ale propriului proces sau cu cele similare din țară); modernizarea sistemelor statice este, însă, dificilă, deoarece presupune informații suficiente pentru comparație cu performanțele sistemelor similare reprezentative pentru nivelul mondial. În cazul produselor și serviciilor des-

* * * * L'autosuffisance technologique des pays en developpement vers l'adoption de strategie operationelle. New York, O.N.U., 1984, p. 18.

Scanned with OKEN Scanner

tinate exportului, informațiile necesare conceperii programelor de modernizare trebuie să privească și performanțele tehnico-economice ale firmelor concurente sau potențial concurente.

Este evident, că aceste informații obținute operativ trebuie prelucrate în timp economic util — caracteristică a sistemelor adaptive care, în acest scop, și-au creat canale directe de acces la informații din exteriorul sistemului de fabricație (rețele de service, circulația specialiștilor, acces la bănci de date externe etc.) și facilități de prelucrare a acestor date — prin intermediul setului de specialiști proprii — pentru a introduce în producție (funcția de reglaj) acele noutăți ce sînt convergente cu strategiile de dezvoltare a procesului de fabricație. Se ajută, pentru aceasta, și de aportul sectorului de cercetare-dezvoltare, aferent instalației industriale și profilat în acest scop.

În sistemele statice, activitatea principală a personalului este cea de rutină, volumul principal al informațiilor de proces se găsește înglobat în Regulamentul de fabricație (instrucțiunile de lucru), în pregătirea și experiența personalului de operare, în întreținere și conducere, în metodologia de control etc., toate acestea avînd ca scop asigurarea funcționării instalațiilor la parametrii tehnici prestabiliți, al căror nivel rămîne neschimbat pe perioade lungi de timp. Aceeași constanță se regăsește și la nivelul calității produselor, a materiilor prime, a cantităților de poluanți descărcați în mediul înconjurător etc.

Dintre performanțele tehnico-economice ale acestei categorii de subsisteme esențial este gradul de utilizare a capacității de producție — sursă de reducere a costurilor indirecte de fabricație — principala cale de obținere a beneficiului.

Presiunea economică ce se exercită asupra sistemelor cu comportament static este urmarea decalajului nivelului performanțelor tehnice și economice proprii față de cele reprezentative mondial, decalaj regăsit ușor în mărimea indicatorilor de eficiență și competitivitate ai produselor și serviciilor proprii pe piețele externe.

La sistemele cu comportament adaptiv, fluxul informațiilor provenite din exteriorul sistemului este bine organizat, acestea alimentînd banca de date aferentă procesului de fabricație, auxiliar prețios al subsistemului de conducere. Informațiile sînt prelucrate — uzual — cu ajutorul computerului, și folosite ca feed-back al conducerii procesului în scopul:

— adaptării acestui sistem la funcționarea instalațiilor cu calități diferite de materii prime, fără modificarea caracteristicilor de calitate a produselor finite sau chiar în condițiile îmbunătățirii nivelului acestora;

— creșterii valorii de întrebuințare a produselor în funcție de dinamica progreselor științei și tehnologiei, de cerințele consumatorului final și ca urmare a necesității menținerii sau extinderii unei anumite poziții pe piață;

— punerii sub control a fenomenului de uzură morală a instalațiilor și procedeelor de fabricație; idem a produselor, în concordanță cu ciclul de viață economică a acestora;

— comparării continue a performanțelor proprii, tehnice și economice, cu cele reprezentative pe plan mondial — bază pentru stabilirea politicilor și strategiilor de evoluție a proceselor de fabricație, de primă importanță în evoluția sistemului fiind menținerea nivelului tehnic și calitativ al tehnologiilor și produselor la parametri continuu competitivi.

Scanned with OKEN Scanner

Băncile de date, în care se depozitează și valorile parametrilor stării sistemului în diferitele momente ale vieții economice a acestuia, sînt necesare și pentru modelarea sistemului, ca pe baza modelului să se poată simula îmbunătățirea funcționării lui*. Organizarea băncilor de date (inclusiv realizarea infrastructurii lor, a rețelelor pentru obținerea și transmiterea informațiilor, interconectarea lor etc.) impune existența specialiștilor în prelucrarea și valorificarea informațiilor. Profilul profesional al specialiștilor poate fi foarte larg — rezultat al strategiei de evoluție a procesului. Obișnuit, în compartimentele de conducere și organizare pot fi întîlniți specialiști în tehnologie, operații unitare, produse, utilaje, programare, studiul pieții, toxicologie etc., complementaritatea profilului lor profesional definind, astfel, complexitatea procesului de fabricație.

De remarcat că procesul de formare al unui specialist este îndelungat — putînd ajunge la 10—12 ani — formînd astfel, etapa critică a grafului transformării sistemelor statice de fabricație în sisteme cu comportament adaptiv. Într-un asemenea graf, timpul necesar formării specialiștilor se compară cu ciclul de viață economică a produselor și tehnologiilor pentru a se putea corela principalele etape tactice sau strategice ale evoluției sistemului și pentru a evidenția, în mod continuu, eforturile implicate în transformarea sistemelor cu comportament static în sisteme cu comportament adaptiv (eforturi pentru constituirea băncilor de date, formarea specialiștilor, înnoirea infrastructurii de fabricație etc.) cu efectele finale ale acestei transformări regăsite în creșterea competitivității produselor, îmbunătățirea performanțelor procesului tehnologic etc.

Prelucrarea de către specialiștii de proces a informațiilor alimentate continuu în băncile de date are ca rezultat, în afara realizării reglajului și autoreglajului procesului de fabricație, apariția informațiilor de proces cu valoare de întrebuințare (comercializabile) de tipul brevetelor, know-how-ului, asistenței tehnice, expertizelor, programelor pentru calculatoare, instruirea personalului etc. Acest tip de informații și-a creat o legislație proprie — dirijată în special spre protecția paternității — o piață din ce în ce mai largă dominată de țările sau firmele care au reușit să-și valorifice astfel inteligența tehnică a personalului propriu printr-o organizare superioară a sistemelor de fabricație.

Efectele economice ale generării, prelucrării și valorificării în scop comercial a informațiilor de proces pot fi regăsite în:

— amplificarea activității economice, fiind cunoscute cazuri cînd întreprinderi industriale obțin pînă la 40% din volumul producției industriale din comercializarea informațiilor de proces;

— reducerea dependenței de resursele naturale epuizabile;

— posibilitatea integrării în circuitul mondial al comerțului cu informații de proces — mijloc de îmbogățire continuă a propriei bănci de informații;

— crearea de disponibilități financiare pentru susținerea activității de cercetare-dezvoltare, pentru protecția și refacerea mediului înconjurător, formarea și retribuirea specialiștilor de proces, reclamă comercială etc.;

— capacitatea crescută a firmei (întreprinderii) de a se angaja în acțiuni de cooperare în domeniul cercetării-dezvoltării și a reduce, ast-

* CONSTANTINESCU, P. Modelarea unitară a genezei și dezvoltării sistemelor. București, Editura Tehnică, 1985, p. 67, 95—99, 373.

Scanned with OKEN Scanner

fel, timpul și eforturile pentru elaborarea produselor și tehnologiilor noi, premise ale evoluției sistemelor industriale către cele cu comportament evolutiv [8];

— valorificarea inteligenței tehnice ce devine, în acest fel, factor de producție;

— deplasarea activității de rutină a personalului de conducere a proceselor de fabricație către activitatea inovatoare, de creație, concretizată în modificarea, dezvoltarea structurii sistemului de fabricație.

Modernizarea comportamentului sistemelor de fabricație în sensul transformării celor cu comportament static în sisteme cu comportament adaptiv este urmarea firească a legilor de dezvoltare a sistemelor economice. În țara noastră, un impuls deosebit acestei transformări a fost dat de programele de modernizare inițiate de conducerea de partid și stat la începutul cincinalului 1986—1990, programe menite a accentua dezvoltarea intensivă a economiei românești.

Acțiune complexă și de anvergură, modernizarea comportamentului sistemelor de fabricație presupune seturi de măsuri concertate atît la nivelul acestor sisteme cît și la nivelul sistemului complex al industriei sau economiei naționale. Dintre aceste măsuri, ce par determinante pentru reușita transformării comportamentului sistemelor de fabricație, se relieează următoarele:

— elaborarea strategiilor de dezvoltare a produselor, tehnologiilor, platformelor industriale, centralelor industriale etc. pentru orizonturi de timp de 15—25 ani;

— selectarea, pe baza strategiilor de dezvoltare, a grupelor de produse, tehnologiilor, produselor etc. ce se consideră că rămîn viabile pe termen lung (identic cu viața economică a acestora) și includerea lor în programele de modernizare;

— conceperea măsurilor corespunzătoare modernizării sistemelor de fabricație (organizarea sectoarelor de cercetare-dezvoltare proprii instalațiilor industriale, formarea specialiștilor, organizarea băncilor de date și a canalelor de obținere a informațiilor, asigurarea noilor tehnologii și echipamente tehnologice etc.) și realizarea tuturor acestor măsuri în timp economic util. Valorificarea deplină a potențialului economic ce-l prezintă instalațiile industriale ce funcționează cu comportament adaptiv, orientarea hotărîtă spre valorificarea informațiilor de proces-sursă suplimentară de beneficii necesară acoperirii cheltuielilor de modernizare, susținerii sectorului de cercetare-dezvoltare, sursă de acumulare și de amplificare a activității economice, fără consum suplimentar de resurse materiale și energetice, ci numai de inteligență tehnică superior organizată;

— atenția acordată intercondiționărilor la nivelul economiei naționale. Se au în vedere în special următoarele măsuri: armonizarea strategiilor de dezvoltare, priorități în modernizarea unor ramuri și grupe de produse, proiecte tip pentru bazele de date, rețele pentru transmiterea datelor și informațiilor, interconectarea unor baze de date, consolidarea subsistemelor de marketing, de service, de valorificare a informațiilor de proces pe piețele externe, facilități în formarea specialiștilor de proces, accesul direct al acestora la informații tehnice și economice reprezentative pentru nivelul de dezvoltare al domeniului tehnic și economic în care își desfășoară activitatea.

Scanned with OKEN Scanner

Nu fără importanță, pentru conducerea sistemelor de fabricație, rămîne preocuparea de a fi vizată următoarea etapă de dezvoltare a structurii sistemelor, cea care va caracteriza sistemele industriale cu comportament evolutiv, astfel ca trecerea de la sistem cu comportament static la adaptiv și evolutiv să se facă într-o concepție unitară, minimizînd eforturile și timpul economic de transformare și maximizînd efectele economice.

Scanned with OKEN Scanner

7.
Din realizările întreprinderilor și institutelor de cercetare științifică și inginerie tehnologică

1. Instalație de fosfatare antigripantă-PEU

Realizatori: proiectant — I.C.T.C.M.; *executant* — Întreprinderea de Autoturisme Pitești, unde va intra în exploatare.

Caracterizare: instalația este destinată pentru fosfatarea antigripantă a pieselor din oțel pentru cutia de viteze OLTCIT și se compune din: dispozitiv încărcare-descărcare; baie pentru spălare caldă; baie de uscare; baie pentru degresare chimică; baie pentru spălare în contracurent; baie pentru fosfatare; instalație electrică de acționare; mecanism de transport; cale de rulare.

Caracteristici tehnice:

— tipul instalației: monofilară, cu încărcare-descărcare la același capăt, transportul pieselor cu mecanism de transport în consolă;
— dimensiuni piese tratate: min. 22×6×7 mm;
max. 268×55×60 mm;
— dimensiuni dispozitive de tratare: 600×350×400 mm;
— dimensiuni utile cuvă: 1 200×700×750 mm;
— tactul liniei: 6 șarje/oră
— putere totală instalată: 2,5 kW.

Avantaje tehnice: reduce consumul de materiale prin mărirea duratei de funcționare a pieselor tratate; instalația poate fi oferită la export, fiind la nivelul produselor similare pe plan mondial.

2. Instalație de degresare pentru nitrurare ionică

Realizatori: proiectant — I.C.T.C.M. și *executant* — I.M.M.R. Brașov.

Destinație: instalația este destinată degresării pieselor diverse de material rulant înaintea operației de nitrurare ionică.

Scanned with OKEN Scanner

Caracteristici tehnice:
— dimensiuni şarjă: ∅ 650×1 600 mm;
— masă şarjă (capac+dispozitiv+piese): max. 3 000 kg;
— mod de manipulare şarjă: cu podul rulant al halei;
— mod de susţinere şarjă: sub capacul instalaţiei de nitrurare ionică;
— consumuri orare: apă industrială cca 2 m^3/h; energie electrică 20 kWh, din care pentru încălzire 18 kW.

Avantaje tehnice: prin degresarea pieselor se realizează îndepărtarea impurităţilor de origine minerală şi organică provenite de la operaţiile anterioare; se realizează astfel o acurateţe deosebită a suprafeţelor pieselor, ceea ce duce la creşterea preciziei operaţiei de nitrurare ionică; înlocuieşte operaţia de curăţire manuală a pieselor; instalaţia poate fi oferită la export, fiind la nivelul performanţelor produselor similare pe plan mondial.

3. Instalaţie de spălare piese de revoluţie

Realizatori: proiectant — I.C.T.C.M. şi *executant* I.U.G. Craiova.

Destinaţia: instalaţia este destinată curăţirii prin spălare a pieselor de revoluţie elaborate în sistemele flexibile de prelucrare; curăţirea are ca scop eliberarea suprafeţelor pieselor de impurităţile de origine minerală şi organică acumulate în cursul fazelor de prelucrare anterioare.

Caracteristici tehnice:
— dimensiuni piese: ∅ 30—∅ 250 mm; h=15—200 mm;
— masă piese: max. 20 kg;
— agent curăţitor: soluţie alcalină;
— ciclu de curăţire: stropire cu agent de spălare-conservare şi suflare cu aer comprimat;
— consumuri orare: aer comprimat 30 m^3/h; energie electrică 9 kWh.

Avantaje tehnice: instalaţia de curăţire este dotată cu un automat programabil care permite integrarea ei în ciclu automat de lucru al sistemului flexibil de prelucrare, predarea şi preluarea pieselor făcîndu-se cu un robot industrial funcţionînd în tactul unităţilor prelucrătoare; înlocuieşte curăţirea manuală a piesei; instalaţia se va executa pentru export în R.D.G., fiind destinată implementării în sistemele flexibile de prelucrare la Combinatul „7 Octombrie“ Berlin pentru beneficiari din C.A.E.R.

4. Maşină de prelucrat prin electroeroziune de mărime mijlocie cu electrod masiv pentru prelucrări tridimensionale ELER-03-SEM-3D-CNC

Realizatori: proiectant şi *executant* I.C.T.C.M.

Scanned with OKEN Scanner

Caracterizare: utilaj cu C.N.C. de prelucrat tridimensional prin electroeroziune, dotat cu sistem automat de alimentare cu electrozi; prelucrează succesiv sau simultan în trei axe (X, Y, Z).

Caracteristici tehnice:
— dimensiunile mesei de lucru: 600×450 mm;
— curse: X×Y×Z=400×250×400 mm;
— distanța max. între portelectrod și masă: 700 mm;
— nivel max. de dielectric 300 mm;
— nr. de electrozi 8;
— generator de impulsuri de 50 A;
— echipament de comandă numerică CNC 3S2

Avantaje tehnice: poate prelucra cavități complexe, utilizînd avans simultan în trei axe cu ajutorul CNC-ului; permite alimentarea automată cu electrozi; funcționează în ciclu de lucru automat; mașina poate fi oferită la export.

5. Tehnologie și dispozitive de debavurat electrochimic pentru antecameră aspirație, butuc canelat, arbore punte spate

Realizator: proiectant și *executant* I.C.T.C.M.-București; aplicare la întreprinderea ARO — Cîmpulung Muscel.

Caracteristici generale: dispozitivele de debavurare electrochimică sînt utilizate pentru îndepărtarea bavurilor rezultate în urma procesului de prelucrare mecanică a reperelor menționate; se compun din: elemente de poziționare și centrare ale pieselor de debavurat, electrozi, contacte pozitive, borne de alimentare cu curent electric, racorduri de alimentare cu electrolit.

Caracteristici tehnice:
— dimensiuni de gabarit: ∅ 170×400 mm;
— mărime maximă a bavurii: 0,8 mm;
— tensiune de lucru: 18 V;
— curentul max. de lucru: 160 A;
— presiunea electrolitului: 1,5 daN/cm².

Avantaje tehnice: tehnologia și dispozitivele asigură productivitatea de 10 piese/min, precum și calitatea superioară a suprafețelor debavurate; înlocuiește operația de debavurare manuală; poate fi oferită la export.

6. Instalație automatizată cu laser cu CO_2, cu curgere rapidă a gazului, pentru tăierea materialelor

Realizatori: proiectare și *execuție* ansamblul general și partea electromecanică I.C.T.C.M.; partea de comandă numerică I.P.A.; partea de laser propriu-zis I.F.T.A.R.

Scanned with OKEN Scanner

Caracterizare: instalația este de mare productivitate și eficiență tehnico-economică; are posibilități multiple de aplicare pentru prelucrări de tăiere conturată pentru o gamă foarte variată de materiale (oțeluri uzuale și înalt-aliate, plastice, lemnoase, cauciucuri, compozite ș.a.).

Caracteristici tehnice:

— laser cu CO_2 de putere 0,4—1,2 kW;
— echipament de comandă numerică pentru deplasare pe trei axe;
— dimensiuni maxime semifabricat 2 000×1 500×10 mm;
— viteze tehnologice de tăiere: 0,1—8 m/min.;
— precizie: ±0,1 mm/m;
— gabarit utilaj: 6 000×5 050×2 000 mm.

Avantaje tehnice: utilajul este noutate pe plan național; oferă posibilitatea prelucrării unei game largi de materiale și a unor forme complicate de repere; crește productivitatea muncii de 2,2—8,8 ori față de tăierea oxiacetilenică și mecanică; poate fi oferită la export.

7. SIPES — Sistem Interactiv de Proiectare și Execuție a Ștanțelor în pași

Executant: I.C.T.C.M. București, în exploatare la Întreprinderile: Electroaparataj — București: Electrotehnica — București și Electromagnetica — București.

Caracterizare: sistemul asigură elaborarea documentației minimale pentru proiectarea ștanțelor în pași, constînd din: desenele de execuție ale poansoanelor; proiectul plăcii active a ștanței; asigură perforarea benzilor pentru debitarea pe mașini cu comandă numerică a poansoanelor și a plăcii active.

Caracteristici tehnice: SIPES asigură descrierea reperelor ce urmează să se ștanțeze cu ajutorul limbajului LIPCON și are în compunere următoarele module:

— așezarea interactivă a reperelor pe șraiful de tablă, în sensul minimalizării pierderilor de material;
— cotarea interactivă a reperelor de ștanțat;
— proiectarea și cotarea interactivă a plăcii active;
— proiectarea și cotarea interactivă a poansoanelor;
— elaborarea interactivă a planșei care conține elementele proiectului minimal al ștanței și desenarea acesteia pe plotter;
— perforarea benzilor pentru debitarea pe mașina cu comandă numerică a poansoanelor și a plăcii active;
— gestionarea și întreținerea bazei de date a sistemului SIPES.

Resurse necesare: minicalculator de tip Independent 100, 102 Fsnu 106, Coral 4021 sau 4030 cu unitate de disc DD sau DP, terminal grafic de tip DAF 2020 sau echivalent, plotter CALCOMP, KOVO, MD 10 etc. sistem de operare MIX sau RSX.

Scanned with OKEN Scanner

Productivitate: pentru un operator cu experienţă timpul de elaborare a proiectului minimal şi a benzilor perforate este în jur de 2 ore.

Avantaje: se scurtează cu 30—60% timpul de proiectare iar coeficientul de utilizare a materialelor se ameliorează cu 1—10%.

8. Procedeu şi electrod de acoperire prin sudare a pieselor metalice supuse la eroziune

Institutul de Cercetare Ştiinţifică şi Inginerie Tehnologică pentru Echipamente Energetice

Descriere: procedeul (brevet de invenţie nr. 88872/31.03.1986), constă, în principal, în: prelucrarea suprafeţei ce se încarcă pînă la luciu metalic; aşezarea piesei cu suprafaţa în poziţie orizontală; preîncălzirea piesei; aşezarea unui strat de flux pe suprafaţa de acoperire (fig. 7.1); aşezarea electrodului plat şi fuzibil peste stratul de flux; delimitarea suprafeţei de acoperit cu nisip (reţeta amestecului de miez utilizat în turnătorie) pentru a nu curge materialul topit; acoperirea electrodului cu un strat de flux, cu grosimea de 15 mm; conectarea, un interval de timp prestabilit, a unei surse auxiliare de curent, asigurîndu-se un prag minim de frecvenţă de 10 kHz şi de tensiune de 10 . . . 20 kV la o putere de cca 20 W, urmată de conectarea sursei de sudare.

Electrodul plat şi fuzibil este confecţionat dintr-un suport din tablă decapată din oţel necalmat, acoperit pe suprafaţa care se aşează pe piesă cu o pastă din pulberi de feroaliaje.

Domeniul de utilizare: acoperirea prin sudare a suprafeţelor plane ale pieselor supuse la eroziune sau coroziune, cu un strat gros de material rezistent.

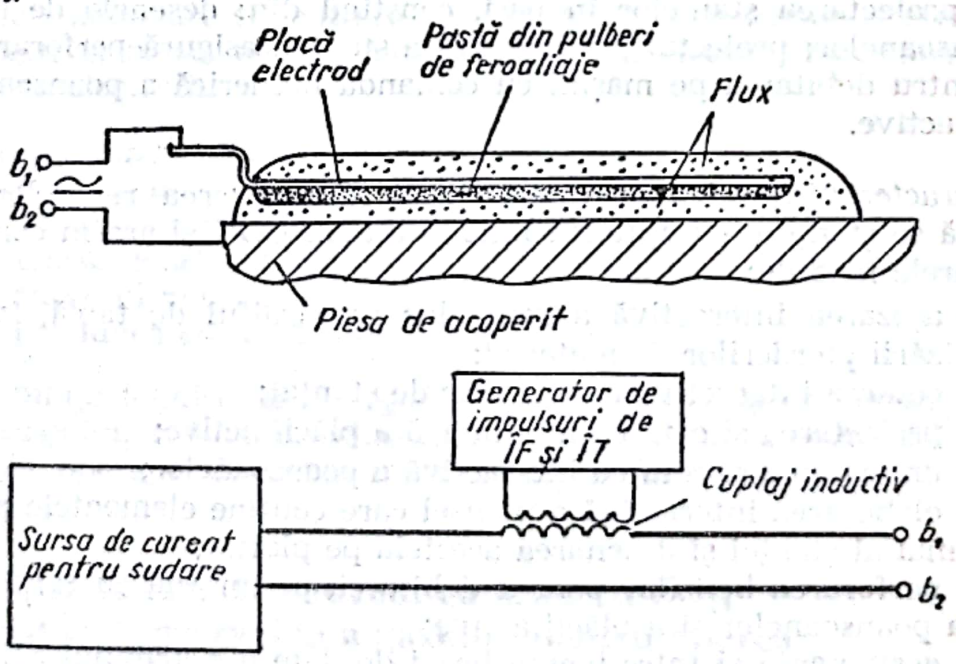


Fig. 7.1.

Caracteristici tehnice: grosimea stratului depus: 1 . . . 6 mm (straturi mai groase se obţin prin depunerea succesivă a mai multor straturi); compoziţia stratului depus: practic se poate obţine orice aliaj de oţel, compoziţia fiind dată de cantitatea de feroaliaje din pasta electrodului şi de

Scanned with OKEN Scanner

cantitatea de metal din tabla din care este confecționat suportul electrodului.

Procedeul se aplică în atelierul de producție industrială al institutului — platforma Berceni.

9. Tehnologie de execuție a fundurilor semisferice ∅1 300 dintr-o bucată

Întreprinderea Mecanică de Utilaj Chimic IMUC — București

Descriere: în principiu, tehnologia de execuție a fundurilor semisferice dintr-o bucată are la bază operația de ambutisare pornind de la un disc ∅ 1 900 mm; procedeul utilizat (dosar de inovație nr. 1/30.06.1987) este un procedeu de ambutisare a pieselor cu forme sferice, în trei faze: ambutisare în matriță avînd raza de racordare R=350 mm cu un poanson elicoidal ∅ 1 200; ambutisare în matriță cu R=350 mm cu un poanson elipsoidal ∅ 1 300; ambutisarea în matrițe cu R=650 mm; cu un poanson sferic ∅ 1 300.

Domeniul de utilizare: la recipiente cu pereți subțiri, în întreprinderile cu utilaj chimic și alimentar din C.I.U.C.A.

Caracteristici tehnice: consum redus de oțel inoxidabil și eliminarea manoperei consumate cu polizarea cordoanelor de sudură, eliminarea consumului de electrozi.

10. Reglarea automată a funcționării instalațiilor de alimentare cu apă ale întreprinderilor industriale din rețeaua publică

Întreprinderea Industria Tehnico-Medicală

Descriere: inovația nr. 1723/16.12.1986/I.C.I.Et. realizează reglarea automată a funcționării instalației de apă în funcție de nivelul prestabilit al apei din rezervor și de consumul din rețeaua internă. Reglarea automată se realizează prin montarea în circuitele hidraulice și, respectiv, de acționare, a unui robinet de reglare cu acționare electrică (RAE), *8*, un manometru, *9*, și a unui semnalizator de nivel cu electrozi, *10*, reglate astfel încît să asigure următoarea funcționare (fig. 7.2; *4* — compresor; *6* — floter; *7* — supapă).

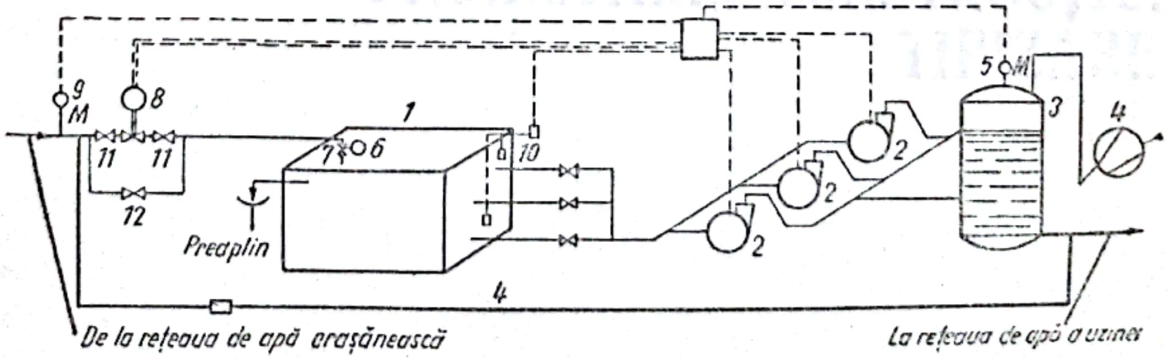


Fig. 7.2.

— La un consum de zi normal, apa de la rețeaua publică alimentează rezervorul *1*, RAE *8* și robinetul *11* care sînt deschise (robinetul *12* este închis). Apa este trimisă în rețeaua uzinală, din rezervorul *1*, de către pompele *2*, care pornesc la scăderea presiunii din hidrofoarele *3*. Cînd consumul în întreprindere este mai mic decît debitul pompelor *2*, manometrele *5* comandă oprirea acestora, consumîndu-se din hidrofoarele *3* pînă ce presiunea scade din nou, cînd pornesc pompele.

— La un debit al apei de la oraș, suficient de mare, care să ducă la atingerea nivelului maxim din rezervorul *1*, semnalizatorul de nivel cu electrozi *10*, montat în rezervor, comandă închiderea RAE *8*, deschiderea acestuia făcîndu-se tot la comanda semnalizatorului de nivel *10*, după scăderea nivelului apei sub un nivel minim prescris. În acest fel se elimină total atît pierderile de apă, cît și posibilitatea producerii de pagube materiale prin inundarea compartimentului pompelor și prin întreruperea procesului de producție.

— La funcționarea cu consum redus în întreprindere, în special pe timp de noapte, cînd presiunea în rețeaua publică poate fi mai mare, se trece instalația pe regim de funcționare economic. În această situație la creșterea presiunii apei din rețeaua publică, manometrul *9* comandă închiderea RAE, astfel încît alimentarea întreprinderii se face direct prin conducta *4*, realizîndu-se astfel importante economii de energie electrică.

Sistemul poate fi aplicat în toate întreprinderile industriale.

Caracteristici tehnice: robinet reglare cu acționare electrică RAE de 220 V; semnalizator de nivel SNE-3, UN 220 V.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

III

MAȘINI, UTILAJE ȘI SDV-URI. PROIECTARE, CONSTRUCȚIE, TIPIZARE

8.
Cubiloul cu plasmă și producerea fontelor de înaltă calitate din materiale recuperabile

Dr. ing. *Iulian Ripoșan*
Institutul Politehnic București

1. Introducere

Cubiloul, agregatul de topire principal din turnătoriile de fontă, capabil să asigure mari cantități de material lichid, în condițiile unor investiții specifice reduse, se află și în prezent în atenția producătorilor de piese turnate de înaltă calitate.

În evoluția acestui tip de cuptor se pot remarca mai multe etape distincte [1], determinate de o serie de factori conjuncturali.

Astfel, penuria de fontă manifestată în anii '50 ai secolului nostru, a determinat apariția cubilourilor de mare capacitate (Metallurgical Blast Cupola — M.B.C.), cu durată mare de funcționare continuă, capabile să amortizeze investiții ridicate privind aparatura de măsură și control, mecanizarea și automatizarea operațiilor, încadrarea în normele ecologice tot mai drastice etc.

Criza energetică manifestată cu pregnanță în ultimii ani a condus la modificarea structurii costurilor diferitelor materii prime și surse de energie, determinînd trecerea în anii '80 ai acestui secol la o nouă etapă în dezvoltarea cubilourilor, la „Super Metallurgical Cupola", respectiv la cele cu plasmă [10].

Preocupările asidue manifestate pe plan mondial în ultimii ani au condus la diferite soluții constructive și tehnologice, care au vizat în principal îmbunătățirea randamentului termic, îndeosebi în condiții mai dificile de funcționare [1, 2].

În acest sens, trecerea pe scară largă la utilizarea aerului cald a determinat schimbări profunde în profilul termic al cubiloului, la crearea unei zone cu temperaturi ridicate, dar relativ concentrată, în care au loc reacții dificil de desfășurat în cazul cubiloului cu aer rece. La aceste cubilouri, aerul este introdus la temperaturi de ordinul 200 . . . 600°C, depășirea limitei superioare nefiind practic posibilă în condițiile actuale ale sistemelor de preîncălzire a aerului (recuperatoare sau preîncălzitoare). Rezultă deci că încălzirea aerului în agregatele termice tradiționale este necesară, dar a devenit ineficientă față de cerințele energetice tot mai mari impuse acestui agregat de elaborare. Trebuie amintite în acest sens: necesitatea reducerii ponderii fontelor de primă fuziune (de furnal) pînă la excluderea acestora; valorificarea deșeurilor metalice, îndeosebi a celor de mici dimensiuni (așchii etc.) care se acumulează în cantități tot mai mari; reducerea consumului de feroaliaje, eventual înlocuirea acestora cu

Scanned with OKEN Scanner

materiale mai accesibile; reducerea consumului de cocs metalurgic de înaltă calitate pentru turnătorii, al cărui preț (150 . . . 200 dolari/t) îl face tot mai greu accesibil; posibilitatea utilizării în cubilou a unor materiale carbonice de calitate mai slabă, inclusiv a cărbunelui (ex. antracit); reducerea conținutului de sulf al fontei; micșorarea costului instalațiilor de epurare a gazelor, în condițiile în care normele ecologice devin tot mai strînse etc.

Utilitatea deosebită a introducerii în cubilou a aerului preîncălzit a determinat căutări asidue în direcția perfecționării sistemelor de preîncălzire a acestuia, care să permită realizarea unor temperaturi mult mai ridicate. În acest mod, s-a ajuns la ceea ce este cunoscut în prezent sub denumirea de „cubilou cu plasmă", respectiv „Plasma-Fired Cupola", „Kupolofen mit Plasmabrenner", „Le Cubilot Electro-Renforce".

Acest cubilou mai păstrează cocsul, dar în cantități mult reduse față de cel clasic (2 . . . 5%), nu atît din considerente termice cît din considerente de realizare a unei atmosfere gazoase neoxidante, fiind caracterizat prin introducerea unui gaz la temperaturi foarte ridicate (600 . . . 12 000°C). Acest lucru este realizat la ionizarea gazului prin descărcări electrice, acesta trecînd printr-o instalație ce realizează un arc electric (Plasma torch, Torch à plasma, Plasmabrenner).

Aceste instalații cu plasmă (una sau mai multe) se montează în sistemul de alimentare cu aer a cubiloului, gazul ce participă la formarea plasmei fiind aerul sau alte gaze, inclusiv cele evacuate din cubilou, ce sînt astfel recirculate.

2. Scurt istoric al utilizării plasmei la cubilou

Studii privind includerea încălzirii cu plasmă în electro-tehnologiile utilizate la topirea materialelor metalice au început în S.U.A. în anul 1982, fiind organizate de către Electric Power Research Institute (E.P.R.I.). Programul de cercetare-proiectare-experimentare a costat 2,0 milioane dolali [3—8]. A fost evidențiată posibilitatea adaptării cubilourilor existente la funcționarea cu energie mixtă (cocs—arc electric cu plasmă), prognozîndu-se un consum de energie electrică în acest sens de 3 600 milioane kWh în anul 2000. În anul 1983 a fost realizată o stație pilot de elaborare a fontei în cubilou cu plasmă, reunind un cubilou tip Modern Equipment (2,5 t/h productivitate, răcire cu apă) și o instalație cu plasmă tip 2-MW MARC-11 (Westinghouse), încărcătura metalică cuprinzînd mari cantități de așchii metalice, fiind asigurată de General Motors.

Autorizat pentru funcționare la sfîrșitul anului 1984, acest cubilou experimental a fost testat în cadrul unui program complex în perioada anilor 1985—1986. Din anul 1987, la acest program au aderat în S.U.A. mai multe turnătorii, precum American Cast Iron Pipe Co., Ford Motor Co., Intermet Corp., Stockham Valves and Fittings Co., Tyler Pipe Industries.

Rezultate deosebite sînt obținute în turnătoriile ce produc piese din fontă cu grafit nodular și din fontă maleabilă.

În prezent, cubiloul experimental E.P.R.I. — S.U.A. este utilizat pentru stabilirea altor posibilități de valorificare a dotării acestui agregat de topire cu o instalație cu plasmă.

Scanned with OKEN Scanner

Preocupări deosebite în acest domeniu se remarcă și în Franța, atît pentru stabilirea bazelor teoretice ale desfășurării proceselor metalurgice în noile condiții [10], cît și în realizarea propriu-zisă a unui asemenea cubilou, în condiții industriale [12]. Astfel, pornind de la un studiu tehnico-economic realizat de Electricité de France în martie 1986, ce a susținut eficiența utilizării instalațiilor cu plasmă la cubilou, în mai 1986 s-a trecut la un program experimental în acest sens, apelîndu-se la o instalație cu plasmă Aerospațiale. Un astfel de cubilou a început efectiv să producă la Automobile Peugeaut în noiembrie 1986, cu rezultate deosebite (economii anuale de 5,96 milioane franci/an). Pornind de la aceste rezultate s-a decis realizarea unei instalații cu plasmă 4 MW AEROSPAȚIALE, ce asigură încălzirea întregii cantități de aer la 900 ... 1 300°C.

În aceeași perioadă, au început testările utilizării plasmei la cubilou și în alte țări [11], astfel că dacă anii 1982 ... 1984 pot fi considerați ca fiind în general ai primelor tatonări, iar 1985 ... 1987 ai experimentărilor în stații pilot și la scară industrială, în prezent aceste cubilouri sînt în stare productivă propriu-zisă, trecînd cu succes testele tehnico-economice.

3. Variante constructive ale cubilourilor cu plasmă

Așa cum a fost arătat anterior, cubiloul cu plasmă este realizat prin amplasarea pe un cubilou clasic, a uneia sau mai multor instalații ce realizează un arc electric, prin care trece un gaz, înainte de pătrunderea acestuia în cubilou. Din punct de vedere constructiv, cubiloul propriu-zis nu prezintă deosebiri esențiale față de cel clasic. Gazul ce urmează a fi ionizat în instalația electrică este de regulă aerul, alături de care se mai utilizează în unele cazuri și o parte din gazele evacuate din cubilou, captate în mod special în acest sens, sub nivelul gurii de încărcare (gaze recirculate). Îndeosebi natura gazului ionizat și amplasarea instalației electrice (cu plasmă) constituie motivația existenței unor variante constructive, la care se mai pot adăuga însă și alte elemente, cum ar fi de exemplu modul de introducere în cubilou a deșeurilor metalice mărunte, a nisipului etc.

Cubiloul EPRI — S.U.A. În fig. 8.1 este prezentată schema cubilou-în S.U.A., în cadrul unui program coordonat de către Electric Power Research Institute (E.P.R.I.) [3 ... 8], iar în fig. 8.2. aspectul acestuia.

Instalația cu plasmă Westinghouse de 2 MW cu care este dotat acest cubilou, este apreciată ca fiind de construcție simplă, accesibilă din punct de vedere comercial. Un alimentator de putere de înaltă intensitate, controlat cu tiristori, menține arcul electric între doi electrozi din cupru răciți cu apă, fiind conectat la o rețea electrică de 4 160 V. Un cîmp magnetic indus rotește arcul în jurul diametrului electrozilor pentru a preveni uzuri locale excesive. Trecerea unui gaz prin acest arc electric (0,047 m^3/s) provoacă ionizarea acestuia și încălzirea pînă la temperaturi ce pot atinge 10 000°F (5 538°C), la un randament de transformare a energiei electrice în energie termică de 85 ... 90%.

În cazul cubiloului (v. fig. 8.1), instalația cu plasmă (8) este montată într-o gură de aer, acționînd asupra aerului utilizat la arderea cocsului. În plus, este asigurat un curent de aer pentru răcirea zonei de contact instalație cu plasmă-cubilou, în vederea protejării căptușelii refrac-

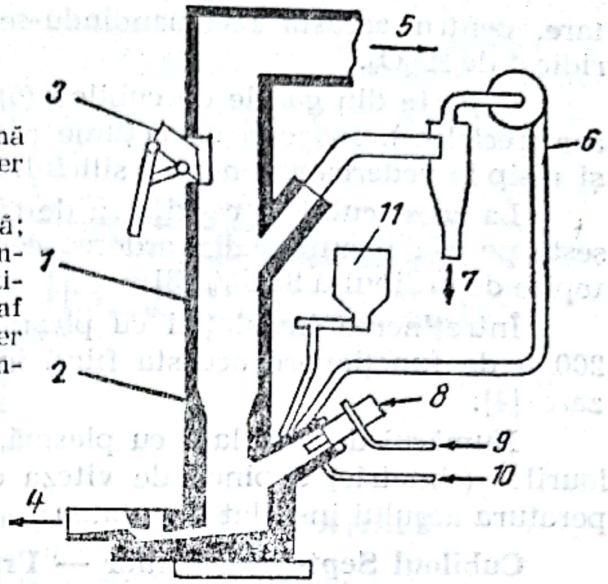
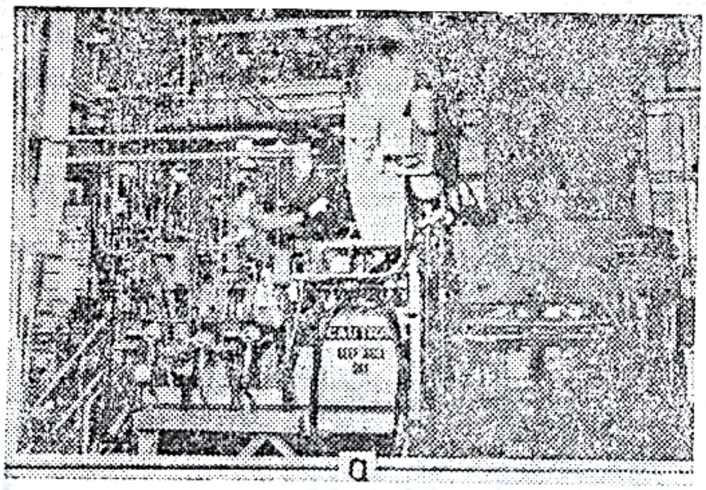
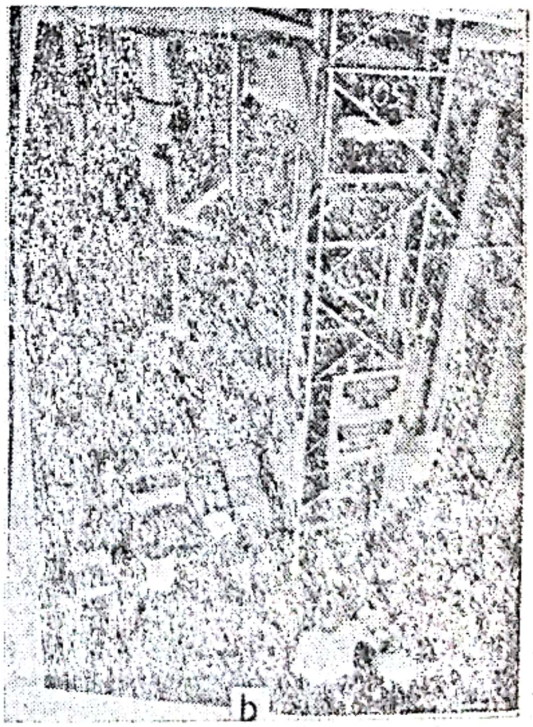


Fig. 8.1. Schema cubiloului cu plasmă realizat în S.U.A. de către Electric Power Research Institute (EPRI):
1 — cubilou; *2* — căptușeală refractară; *3* — sistem încărcare; *4* — evacuare fontă; *5* — evacuare gaze; *6* — circuit reutilizare (reciclare) gaze cubilou; *7* — praf din gaze; *8* — instalație plasmă; *9* — aer plasmă; *10* — aer cubilou; *11* — alimentator span.





8.2. Aspectul cubiloului cu plasmă de 2,5 t/h EPRI — S.U.A.

tare, pentru aceasta recomandîndu-se materiale refractare cu conținut ridicat de Al_2O_3.

O parte din gazele de cubilou (*6*) au fost reintroduse prin gurile de aer (reciclate). În zona de acțiune a instalației cu plasmă este introdus și nisip în vederea regenerării siliciului, sau așchii (*11*).

La acest cubilou, cantitatea de căldură asigurată de plasmă o depășește pe cea rezultată din arderea cocsului, atingîndu-se randamente de topire de ordinul a 98,5% [3].

Întreținerea instalației cu plasmă Westinghouse este simplă, după 200 h de funcționare aceasta fiind în condiții corespunzătoare de utilizare [4].

Numărul de instalații cu plasmă, montate în gurile de aer ale cubilourilor (simetric) depinde de viteza de topire urmărită, mărimea, temperatura aerului insuflat în cubilou.

Cubiloul Sept-Fons (Allier — Franța). Rezultat al unei colaborări a mai multor firme franceze (Automobiles Peugeot, Aerospatiale și Electricité de France), acest cubilou este dotat cu o instalație cu plasmă mobilă de 2 MW, realizîndu-se o creștere a temperaturii aerului de la 400—500°C (inițial) la 1 000°C (fig. 8.3, fig. 8.4, fig. 8.5) [12].

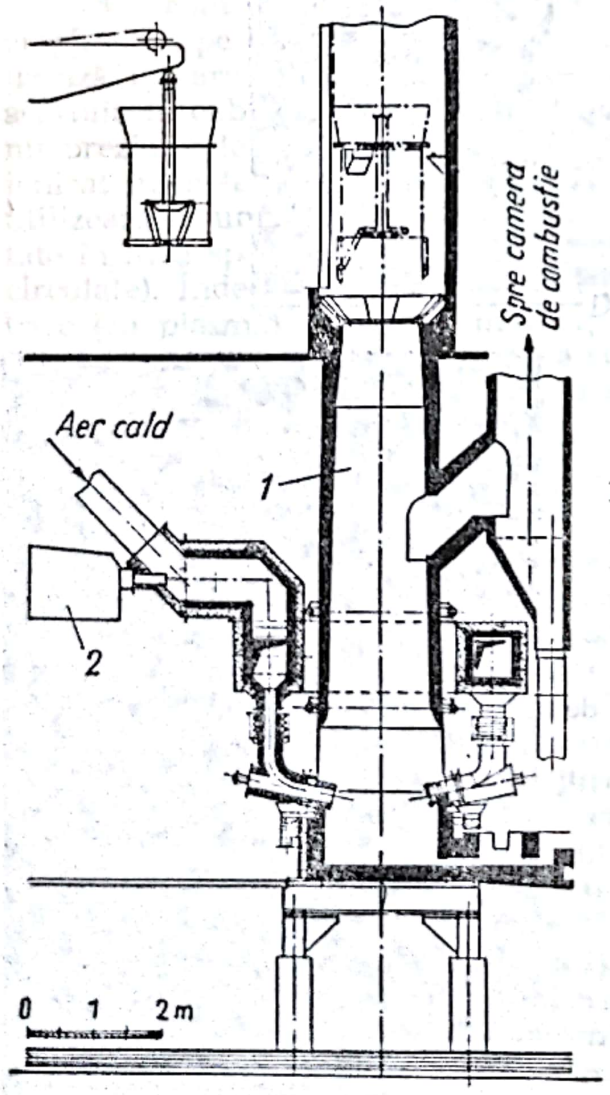


Fig. 8.3. Cubiloul cu plasmă Sept-Fons (Franța) (20 t/h):
1 — cubilou; *2* — instalație cu plasmă.

Scanned with OKEN Scanner

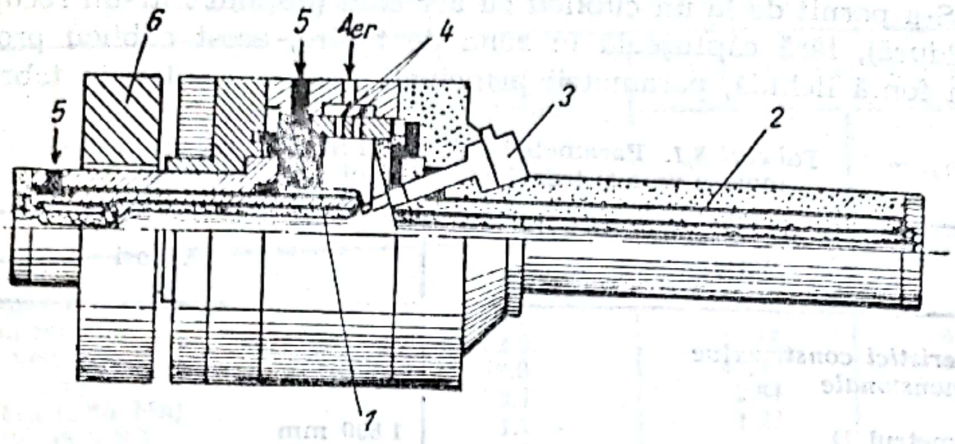


Fig. 8.4. Instalație cu plasmă mobilă 2 MW AEROSPAȚIALE (Franța):
1 — electrod amonte; *2* — electrod aval; *3* — electrod amorsare; *4* — injector aer; *5* —apă; *6* — bobină cîmp magnetic.

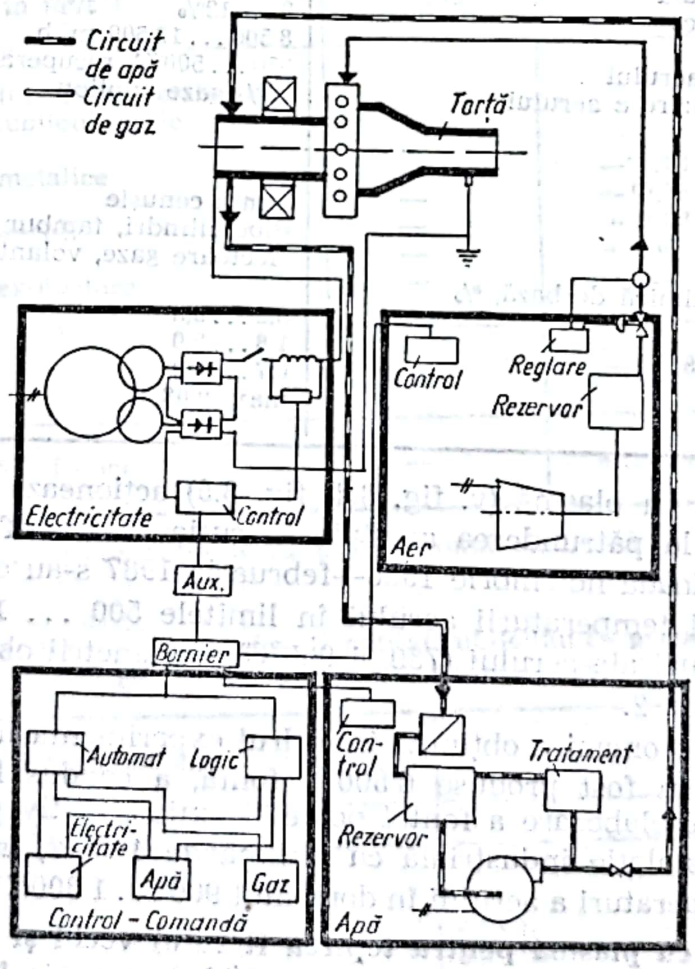


Fig. 8.5. Schema de principiu a instalației cu plasmă mobilă 2 MW AEROSPAȚIALE (Franța).

S-a pornit de la un cubilou cu aer cald (obținut într-un recuperator de căldură), fără căptușeală în zona de topire, acest cubilou producînd 20 t/h fontă lichidă, parametrii principali fiind prezentați în tabelul 8.1.

Tabelul 8.1. **Parametrii cubiloului Sept-Fons-Franța înainte de a fi transformat în cubilou cu plasmă**

Caracteristica	Valori
Caracteristici constructive și dimensionale	
— Diametrul D	1 800 mm
— Înălțimea H_u	10 000 mm
— Guri de aer	6, răcite cu apă, ce pătrund în cubilou
— Zona de topire	Fără căptușeală
Parametrii de funcționare	
— Durata de funcționare continuă	120 h/săptămînă
— Productivitatea orară	20 t/h
— Producție anuală	95 000 t/an
— Consum de cocs	9 ... 12%
— Debit de aer	8 500 ... 12 500 m³/h
— Temperatura aerului	350 ... 500°C, recuperator cu țevi
— Sursa de încălzire a aerului	50% gaze cubilou
Fonte produse	
— Tipul fontei	Fontă cenușie
— Piese turnate	Bloc cilindri, tambur și disc frînă, colectoare gaze, volant-motor etc.
— Compoziția chimică de bază, %	
C	3,2 ... 3,3
Si	1,8 ... 2,0
Mn	0,7 ... 0,8
S	max. 0,08

Instalația cu plasmă (v. fig. 8.4, fig. 8.5) acționează asupra aerului de combustie, la pătrunderea acestuia în cutia de aer. Testările acestui cubilou în perioada noiembrie 1986—februarie 1987 s-au efectuat în condițiile variației temperaturii aerului în limitele 500 ... 1 000°C. Pentru două temperaturi ale aerului (730 și 900°C), parametrii obținuți sînt prezentați în tabelul 2.

Eficiența economică obținută în cadrul experimentărilor (tabelul 8.2), timp în care au fost produse 6 500 t fontă, a condus la concluzia că acest sistem de elaborare a fontei poate fi extins, motiv pentru care s-a trecut la o instalație industrială cu plasmă de 4 MW, în vederea obținerii unei temperaturi a aerului în domeniul 900 ... 1 300°C.

Cubiloul cu plasmă pentru topirea fierului vechi și a așchiilor. Un cubilou de mare productivitate (60 t fontă/h), la care în încărcătura metalică se utilizează numai deșeuri de oțel (fier vechi) și așchii este prezentat în fig. 8.6, cu parametrii funcționali din tabelul 8.3 [11].

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 8.2. **Parametrii de funcţionare şi eficienţa cubiloului cu plasmă Sept-Fons-Franţa (∅ 1 800 mm)**

Caracteristica	Cubilou clasic, aer+O_2 (T_a=400 ... 500°C)	Cubilou cu plasmă	
		T_a=730°C	T_a=900°C
Încărcătura metalică, % — fontă nouă — fier vechi — recirculate — Fe-Mn (16% Mn) — Fe-Si (45% Si) — brichete SiC	15,1 32,5 48,0 2,7 1,1 0,6	7,06 40,17 48,0 2,84 1,33 0,6	3,3 43,4 48,0 3,0 1,7 0,6
Cocs, %	9,8	8,9	8,5
Energie electrică, în kWh/t	—	130	150
Oxigen lichid, în m^3/t	0,0103	—	—
Variaţia costului fontei elaborate, în raport cu cubiloul clasic (franci/t): — materiale metalice — cocs — energie electrică — oxigen — cheltuieli exploatare	— — — — —	—70,13 —12,55 +41,08 —6,30 +4,22	—93,34 —17,93 +47,40 —6,30 +7,42
Total	—	—43,68	—62,72
Economii anuale, franci	—	4 150 000	5 960 000

Observaţie. Date obţinute la 6 500 t fontă elaborată în cubiloul cu plasmă.

Tabelul 8.3. **Parametrii funcţionali ai cubiloului cu plasmă, de 60 t/h, pentru topirea fierului vechi şi a aşchiilor**

Caracteristica	Valori
1	2
Producţie cubilou — fontă — zgură — gaze	 60 t/h 0,6 t/h 10 160 m^3/h

Scanned with OKEN Scanner

1	2
Materiale introduse prin gura de încărcare	
— fier vechi	18 t/h
— aşchii	12 t/h
— cocs	2,6 t/h
— calcar	0,8 t/h
— aer	22 200 m³/h
Instalaţie cu plasmă	
— tipul instalaţiei	1,5 MW
— consum de energie	24 MWh
— aer plasmă	5 250 m³/h
Recirculare (reciclare) gaze cubilou	
— volum de gaze	3 860 m³/h
— temperatura gazelor la captare	400°C
— temperatura gazelor la reintroducere	370°C
— loc de captare a gazelor	Sub gura de încărcare
— loc de reintroducere a gazelor	În instalaţia cu plasmă
Evacuare gaze din cubilou	
— gaze ce părăsesc cuva cubiloului	6 300 m³/h; 150°C
— aer introdus prin gura de încărcare	22 200 m³/h
— gaze ce părăsesc cubiloul	28 500 m³/h; 870°C
— mod de utilizare a gazelor	Preîncălzirea aşchiilor
Aşchii insuflate în zona instalaţiei cu plasmă	
— consum de aşchii	30 t/h
— temperatura aşchiilor	540°C
— agent de insuflare a aşchiilor	Gazele de cubilou recirculate
— încălzirea aşchiilor	Cuptor rotativ
— Energie de încălzire a aşchiilor	Căldura fizică şi chimică a gazelor evacuate din cubilou

Încărcătura propriu-zisă a cubiloului (introdusă prin gura de încărcare) conţine fier vechi şi aşchii, cocs (8,7%) şi calcar (2,7%). O parte din gaze (38%) sînt captate sub nivelul gurii de încărcare, la 400°C şi, după

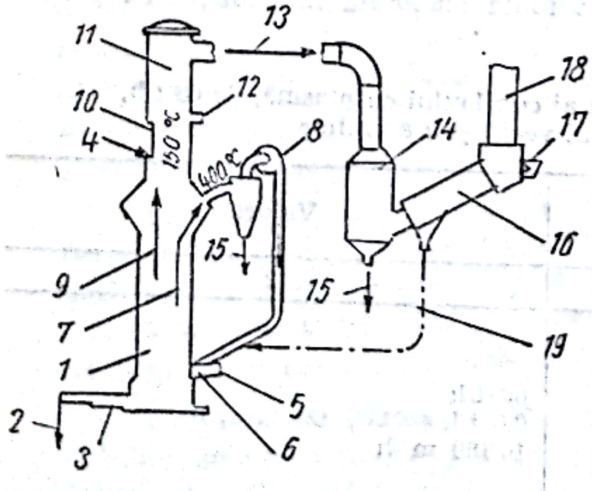


Fig. 8.6. Cubilou cu plasmă cu productivitatea de 60 t/h, pentru topirea fierului vechi şi a aşchiilor:
1 — cubilou; *2* — evacuare fontă; *3* — evacuare zgură; *4* — încărcătură cubilou; *5* — instalaţie cu plasmă; *6* — aer plasmă; *7* — gaze de cubilou recirculate (reciclate); *8* — ventilator recirculaţie gaze; *9* — gaze evacuate din cubilou; *10* — aer insuflat prin gura de încărcare în cubilou; *11* — zonă în care se realizează arderea CO din gazele cubiloului; *12* — arzător; *13* — gaze evacuate din cubilou; *14* — sistem desprăfuire; *15* — praf; *16* — cuptor rotativ pentru încălzirea şpanului; *17* — introducere şpan în cuptor; *18* — evacuare gaze din cuptor; *19* — introducere şpan încălzit în cubilou.

Scanned with OKEN Scanner

o desprăfuire, sînt reintroduse în cubilou, la 370°C, prin instalația cu plasmă. Aceasta, de tip 1,5 MW, este alimentată cu aer (5 250 m^3/h) ce asigură și arderea cocsului din cubilou. Restul gazelor cubiloului (62%), ce părăsesc cuva acestuia la temperatura de 150°C, primesc prin gura de încărcare, o mare cantitate de aer (22 300 m^3/h). La partea superioară a coșului cubiloului se realizează arderea oxidului de carbon din gaze cu oxigenul introdus de acest aer, sub acțiunea unui arzător. Gazele evacuate din cubilou, care ating în acest mod o temperatură ridicată (870°C), sînt utilizate, după desprăfuire, la încălzirea aschiilor, într-un cuptor rotativ. Aschiile astfel încălzite (540°C) sînt insuflate în cubilou cu ajutorul gazelor de cubilou recirculate. În acest mod, cea mai mare parte a aschiilor (70%) sînt introduse în zona de acțiune a instalației cu plasmă, aschiile reprezentînd 70% din totalul încărcăturii metalice a cubiloului. În aceste condiții, consumul de cocs este de ordinul a 4,33% din totalul materialelor metalice introduse în cubilou.

4. Particularități metalurgice ale cubiloului cu plasmă

Consumul de cocs. Un amplu studiu termic și termodinamic asupra funcționării cubiloului cu plasmă se efectuează în lucrarea [10], în condițiile în care prin instalația cu plasmă este introdus numai aer sau aer + gaz de cubilou recirculat (reciclat).

În zona arcului electric, la care are loc ionizarea gazelor prin descărcări electrice (plasmă) se înregistrează în principal reacțiile:

$1/2N_2 \rightleftarrows N$ (1) $p_N = K_{pN}\sqrt{p_{N_2}}$,

$1/2O_2 \rightleftarrows O$ (2) $p_O = K_{pO}\sqrt{p_{O_2}}$,

$1/2O_2 + 1/2N_2 \rightleftarrows NO$ (3) $p_{NO} = K_{pNO}\sqrt{p_{N_2}}\cdot\sqrt{p_{O_2}}$,

$1/2H_2 \rightleftarrows H$ (4) $p_H = K_{pH}\cdot\sqrt{p_{H_2}}$,

$1/2O_2 + 1/2H_2 \rightleftarrows OH$ (5) $p_{OH} = K_{pOH}\cdot\sqrt{p_{O_2}}\cdot\sqrt{p_{H_2}}$,

$H_2 + 1/2O_2 \rightleftarrows H_2O$ (6) $p_{H_2O} = K_{pH_2O}\cdot\sqrt{p_{O_2}}\cdot p_{H_2}$

(7) $$2p_{O_2} + p_O + p_{NO} + {}^{1}/_{2}(p_{OH} - p_H) = p_{H_2} + \frac{\beta}{1-\beta}(p_{NO} + 2p_{N_2} + p_N),$$

(8) $$2p_{H_2} + p_H + p_{OH} = \frac{\gamma}{1-\beta}(2p_{N_2} + p_N + p_{NO}),$$

(9) $$p_N + p_O + p_{NO} + p_{OH} + p_{H_2O} + p_{O_2} + p_{H_2} + p_{N_2} = p_{total}.$$

În zona de ardere din patul de cocs au loc reacțiile:

$C + O_2 \rightleftarrows CO_2$ (1) $p_{CO_2} = Kp_{CO_2}\cdot p_{O_2}$

$C + 1/2O_2 \rightleftarrows CO$ (2) $p_{CO} = Kp_{CO}\cdot\sqrt{p_{O_2}}$

$H_2 + 1/2O_2 \rightleftarrows H_2O$ (3) $p_{H_2O} = K_{pH_2O}\cdot\sqrt{p_{O_2}}\cdot p_{H_2}$

$1/2H_2 + 1/2O_2 \rightleftarrows OH$ (4) $p_{OH} = K_{pOH}\sqrt{p_{H_2}}\cdot\sqrt{p_{O_2}}$

$Fe_{lic} \rightleftarrows Fe_{gaz}$ (5) $p_{Fe} = K_{pFe}$

(6) $$(1-\beta)(2p_{CO_2} + 2p_{O_2} + p_{CO}) = 2\beta p_{N_2}$$

(7) $$p_{Fe} + p_{H_2} + p_{OH} + p_{H_2O} + p_{O_2} + p_{CO} + p_{CO_2} + p_{N_2} = p_{total}.$$

în care β este conținutul de oxigen în aerul insuflat.

Scanned with OKEN Scanner

Calculele efectuate precum și modelarea funcționării cubiloului cu plasmă au condus la concluzia că o îmbunătățire considerabilă a randamentului termic al cubiloului se realizează atunci cînd prin instalația cu plasmă este trecut un curent de gaze, captate de sub gura de încărcare a cubiloului.

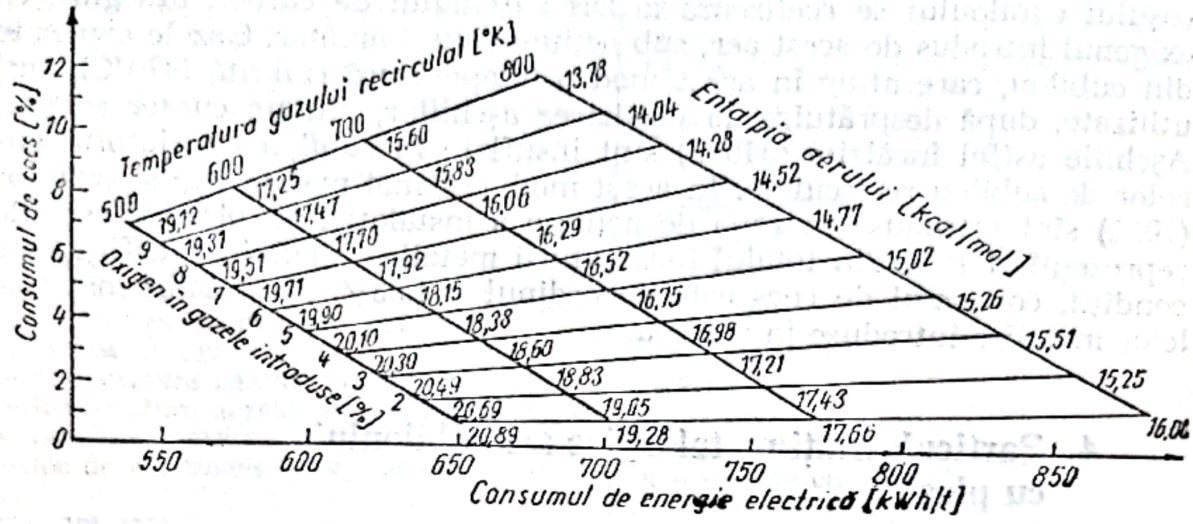


Fig. 8.7. Stabilirea, prin calcul, a consumului de cocs și de energie electrică, în cazul cubiloului cu plasmă, cu recircularea unei părți din gazele de cubilou.

Utilizarea acestor gaze ce conțin în principal azot și oxid de carbon, permite reducerea consumului de cocs la valori foarte scăzute, strict necesare pentru asigurarea unor condiții metalurgice corespunzătoare în cubilou.

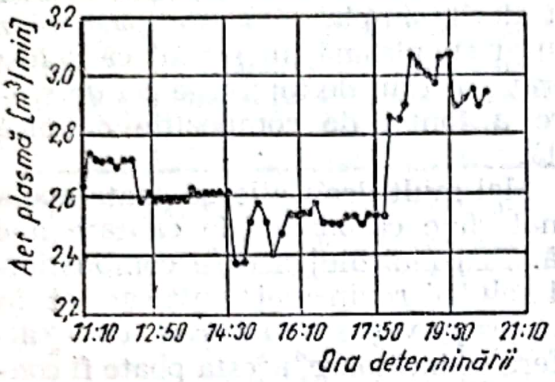
În fig. 8.7 sînt prezentate rezultatele obținute din calcul, în ipoteza că o parte din gazele de cubilou sînt recirculate și reintroduse prin instalația cu plasmă [10].

Astfel, de exemplu, la un conținut de oxigen în gazele introduse în cubilou de 5% și la o temperatură a acestora de 600°K, rezultă necesitatea unui consum de cocs de circa 4% și de energie electrică de 643 kWh/t. Entalpia aerului este în acest caz de ordinul a 18,32 kcal/mol, ceea ce corespunde unei temperaturi de încălzire a acestuia de 2 500°K.

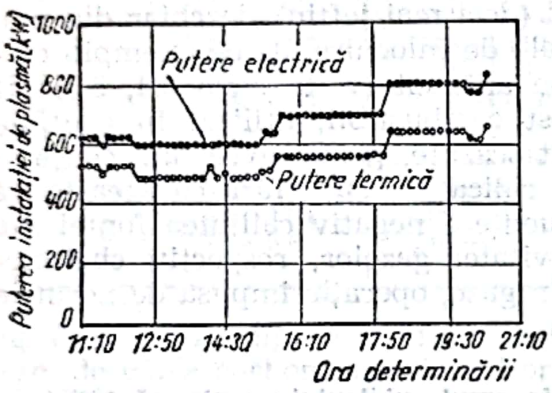
Aceste supoziții teoretice au fost confirmate de experimentările practice, efectuate cu mai multe variante ale cubiloului cu plasmă. Concludente în acest sens sînt rezultatele obținute la cubiloul experimental EPRI—S.U.A. (v. fig. 8.1, fig. 8.2), la care a fost conceput un program de cercetare complex, urmărindu-se elucidarea mai multor probleme, precum: componența încărcăturii, consumul de cocs, raportul metal/cocs, regimul electric al instalației cu plasmă, tipul și cantitatea gazului ionizat etc. [3—8].

Au fost aplicate 17 regimuri diferite de funcționare, încărcăturile experimentale utilizate fiind prezentate în tabelul 8.4. În tabelul 8.5 sînt evidențiați o serie de parametri ai acestui cubilou, în condițiile varierii raportului metal/cocs în limitele 8 ... 70 : 1 și a puterii instalației cu plasmă în intervalul 400 ... 1 200 kW. În cazul șarjei experimentale nr. 13 A (v. tabelele 8.4 și 8.5) au fost practicate mai multe regimuri de încărcare (tabelul 8.6). Pentru această șarjă experimentală, în fig. 8.8 sînt prezentate o serie de rezultate obținute [5]. Se ajunge la concluzia că față de raportul metal/cocs de 10 : 1 la cubiloul clasic, la cubiloul cu plasmă se pot utiliza valori ale acestui raport de ordinul 35 ... 42 : 1, ceea ce

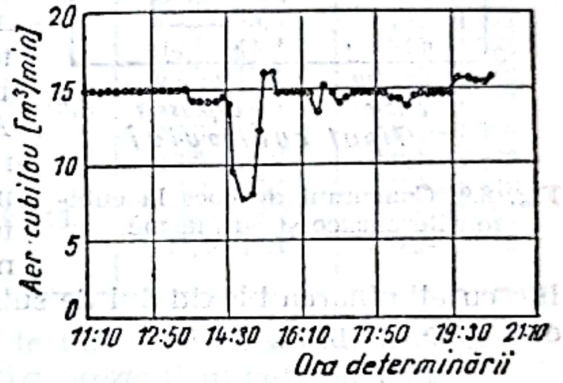
corespunde unui consum de cocs foarte scăzut (fig. 8.9). Valori scăzute ale consumului de cocs (4,33%) au fost obținute și în cazul în care încărcătura metalică a constat numai din fier vechi și șpan (v. tabelul 8.3).



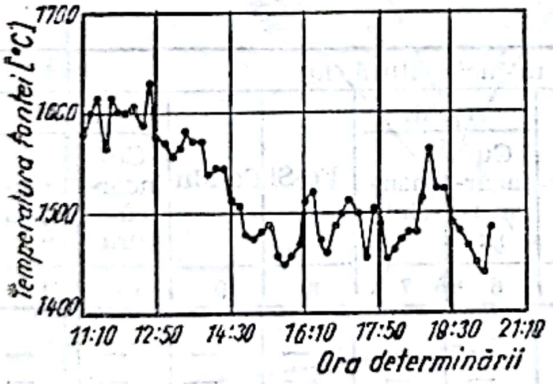
a



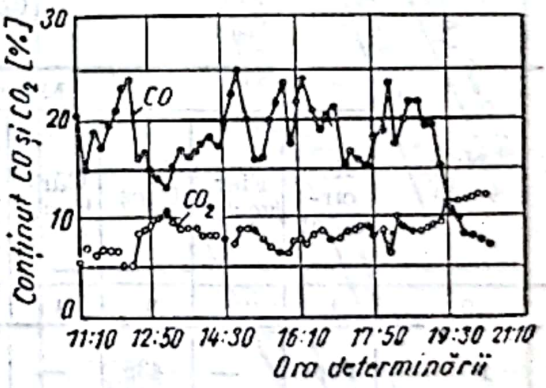
b



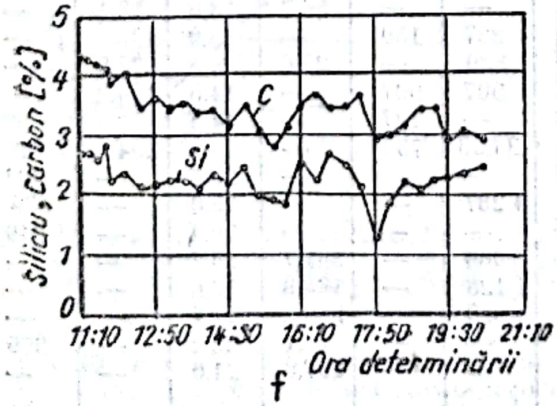
c



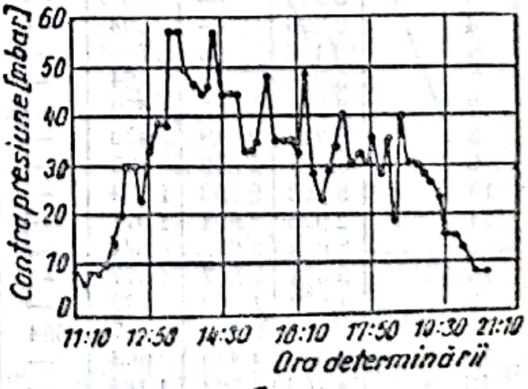
d



e



f



g

Fig. 8.8. Evoluția pe durata experimentărilor șarjei nr. 13. A (v. tabelele 8.4, 8.5, 8.6) a debitului aerului pentru instalația cu plasmă (*a*) și cubilou (*c*), puterea instalației cu plasmă (*b*), temperatura fontei (*d*), compoziția chimică a gazelor (*e*) și a fontei (*f*), contrapresiunea din cubilou (*g*), în cazul cubiloului cu plasmă EPRI (v. fig. 8.1., fig. 8.2).

Scanned with OKEN Scanner

Chiar și în cazul în care nu reducerea consumului de cocs a fost parametrul principal urmărit, tot au fost obținute valori importante ale eficienței, datorită participației mai scăzute ale cocsului (v. tabelul 8.2).

Se apreciază că în cazul cubiloului cu plasmă s-a obținut mult mai mult decît simpla înlocuire parțială a cocsului cu plasmă, în sensul că a fost separat procesul de topire de cel de realizare a fontei de compoziție chimică dorită.

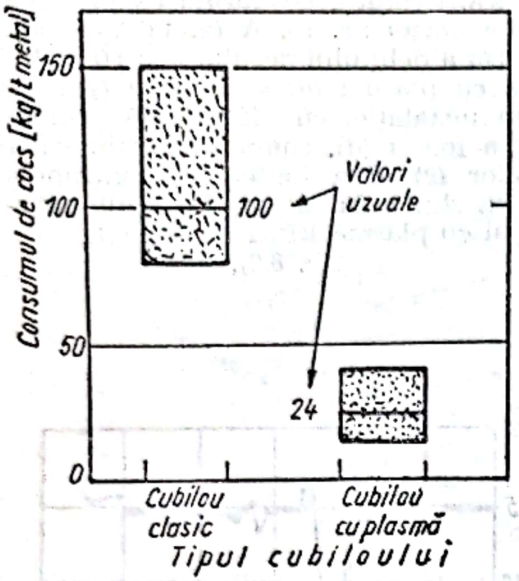


Fig. 8.9. Consumul de cocs la cubilourile clasice și cu plasmă.

Mai mult decît atît, se poate apela la materiale carbonice de calitate mai slabă. În condițiile în care combustibilului solid îi revin mai mult sarcini în ceea ce privește realizarea unei atmosfere reducătoare, acesta poate fi constituit fie din cocs de dimensiuni mai mici (deci mai ieftin) fie chiar din materiale de înlocuire, ca de exemplu cărbune antracit (v. tabelele 8.4, 8.5) [5]. Acest combustibil, utilizat în cantități mult scăzute, poate avea un conținut mai ridicat de sulf, fără ca aceasta să influențeze negativ calitatea fontei sau nocivitatea gazelor, respectiv cheltuielile cu eliminarea bioxidului de sulf din gaze, operație impusă de normele ecologice din multe țări.

Tabelul 8.4. **Încărcături experimentale în cazul cubiloului cu plasmă EPRI (∅762 mm)**

Nr. șarjă	Materiale în încărcătură, kg										
	Re-circulat	Fier vechi	Cocs	Cărbune	Calcar	Așchii		Fe-Si	Fe-Mn	Nisip	
						Cu încărcătura	Insuflat			Cu încărcătura	Insuflat
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	4 604	—	435	—	165	—	—	—	—	—	—
2	4 922	—	470	—	134	—	—	—	—	—	—
3	8 954	—	587	—	213	—	—	43,1	—	16,3	—
4	9 526	—	503	—	176	—	—	56,7	13,6	18,1	—
5	10 156	95	726	—	180	227	159	—	15,0	136	—
6	5 828	—	464	—	136	839	—	23,6	9,5	25,9	—
7	9 285	95	672	—	182	907	907	—	14,5	104,3	—
8	6 717	2 019	478	—	154	—	197	—	14,5	—	57
9	6 573	2 858	928	—	321	3 000	703	—	—	204	29
10	5 103	5 103	1 164	—	312	—	—	—	20,4	—	431
11	2 926	2 994	1 077	—	370	4 287	—	—	15,0	—	536
12	5 035	5 035	644	—	241	—	—	—	20,4	—	249
13 A	3 071	3 257	1 677	—	581	8 369	—	261,7	36,7	—	—
13 B	1 628	1 603	572	—	171	1 123	—	138,8	13,6	—	—
14	2 039	2 043	367	694	351	4 899	—	246,3	27,7	—	—
15	4 426	4 426	608	—	362	—	—	77,1	22,2	—	299
16	4 763	4 763	1 184	—	390	—	—	294,8	24,0	—	—

Scanned with OKEN Scanner

Reacţii de oxidare şi reducere. O analiză a echilibrului diferiţilor oxizi funcţie de temperatură şi de raportul CO/CO_2 este prezentată în

Tabelul 8.5. **Parametrii de funcţionare a cubiloului cu plasmă EPRI**

Nr. şarjă	Raport metal/cocs	Puterea instalaţiei cu plasmă kW	Gaz cubilou reutilizat m^3/min	Aer cubilou m^3/min	Temperatura fontei °C
1	10,6—11,6	400—490	—	19,8	1 370—1 504
2	11,6—70,0	500—600	—	14,3—20,1	1 377—1 515
3	13,0—16,0	474—705	—	13,9—15,3	1 461—1 527
4	14,2—41,8	570—881	0—14,2	0—14,4	1 390—1 550
5	13,5—43,1	575—953	0—14,3	0—14,7	1 198—1 568
6	13,2—16,3	554—650	—	8,5—14,2	1 468—1 488
7	15,0—19,0	629—865	—	14,7	1 450—1 520
8	11,9—30,4	744—1 085	0—14,2	0—14,7	1 357—1 508
9	12,6—13,5	833—1 056	—	14,9—15,5	1 493—1 572
10	7,3—11,3	745—1 112	—	14,5—15,3	1 543—1 572
11	8,7—10,4	788—1 000	—	14,8—15,0	1 567—1 579
12	9,4—20,9	587—1 087	0—15,4	0—15,9	1 488—1 567
13 A	7,8—9,8	606—800	—	12,3—15,7	1 451—1 596
13 B	7,2—9,4	731—1 080	—	13,8—16,9	1 421—1 520
14	7,9—23,2	600—813	—	9,0—15,7	1 506—1 548
15	7,9—17,1	500—1 006	0—13,1	0,5—15,4	1 458—1 556
16	7,9—9,0	500—663	—	15,6—16,1	1 489—1 600

fig. 8.10, *a*, în timp ce în fig. 8.10, *b* este ilustrată posibilitatea de reducere, de către carbon, a mai multor oxizi prezenţi în cubilou [10].

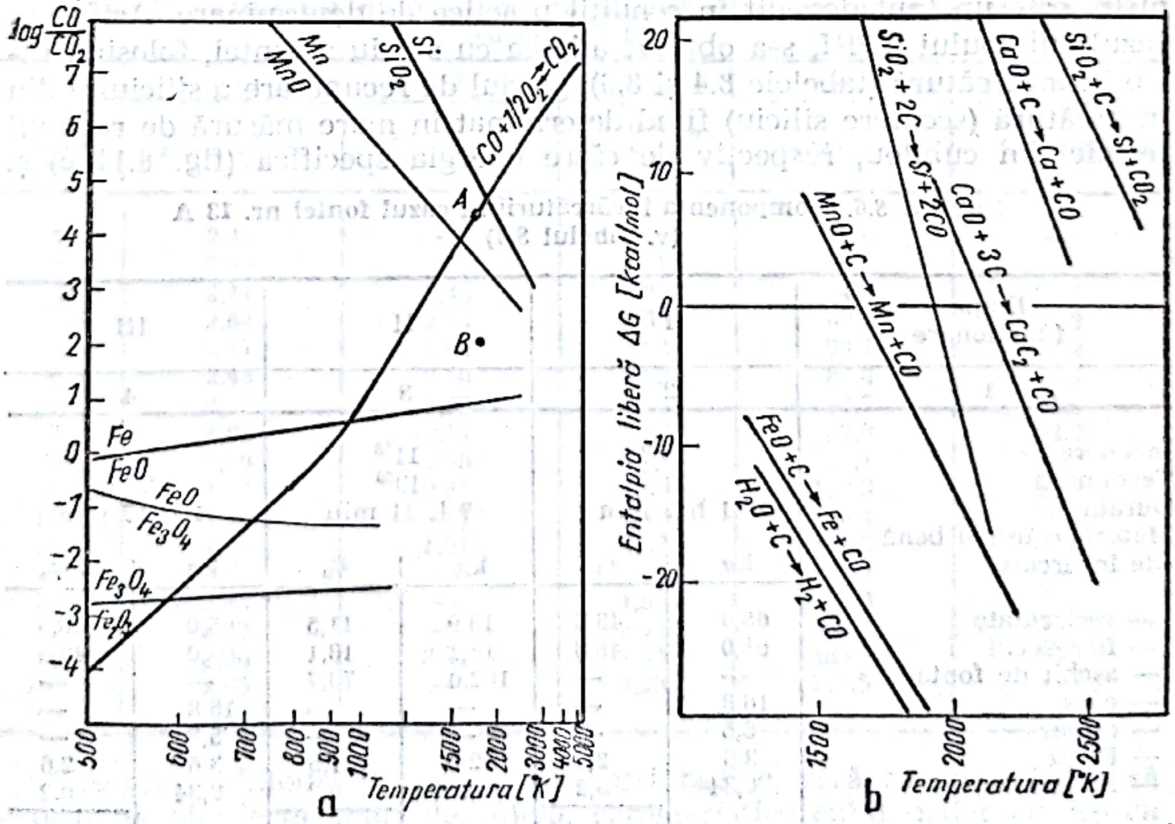


Fig. 8.10. Echilibrul unor oxizi funcţie de temperatură şi raportul CO/CO_2 (*a*) şi capacitatea carbonului de reducere a oxizilor (*b*).

Scanned with OKEN Scanner

Echilibrul CO/CO_2 în prezența carbonului se realizează la 1 700°K (punctul *A* — fig. 8.10, *a*), caz în care pot fi reduși numai oxizii de fier și mangan. În cazul în care nu se atinge echilibrul (punctul *B*), nu poate fi redus decît fierul.

În cazul cubiloului cu plasmă, la care se realizează temperaturi foarte ridicate, de ordinul a 2 500 ... 3 000°K, sînt posibile și reacțiile situate în partea dreaptă a diagramelor din fig. 8.10. Acestor cubilouri le sînt caracteristice deci atît temperaturi foarte ridicate cît și o atmosferă gazoasă cu un raport CO/CO_2 ridicat. Determinările practice (v. fig. 8.8, *e*) confirmă faptul că gazele cubiloului cu plasmă au raportul $CO : CO_2 = 1{,}5 \ldots 3{,}0$, deci practic într-o situație inversă decît la cubilourile clasice. În această situație, gazele evacuate din cubilou dispun de o căldură chimică importantă, care poate fi valorificată pentru preîncălzirea așchiilor introduse în cubilou direct în zona de acțiune a instalației cu plasmă (v. fig. 8.6).

Trebuie remarcat și faptul că volumul gazelor din cubilou scade cu pînă la două treimi, viteza de circulație a acestora fiind de asemenea diminuată.

În aceste condiții este posibilă pe de o parte limitarea oxidării materialelor metalice în cubilou și reducerea unor oxizi, cu recuperarea unor elemente utile, pe de altă parte.

Apare astfel posibilitatea reducerii siliciului din bioxidul de siliciu existent în cubilou (zgură) sau introdus în mod special în acest scop (ex. sub formă de nisip). Este de asemenea posibilă utilizarea în cubilou a minereului de fier, existînd condiții favorabile reducerii acestuia și deci obținerea unor cantități suplimentare de fontă, în condiții economice.

Reducerea bioxidului de siliciu, introdus în cubilou sub formă de nisip, este un fapt dovedit în condiții practice de determinare. Astfel, în cazul cubiloului EPRI, s-a obținut alierea cu siliciu a fontei, folosind nisip în încărcătură (tabelele 8.4 și 8.6), gradul de recuperare a siliciului din încărcătură (scoatere siliciu) fiind determinat în mare măsură de regimul termic din cubilou, respectiv de către energia specifică (fig. 8.11, *a*) și

Tabelul 8.6. **Componența încărcăturii în cazul fontei nr. 13 A (v. tabelul 8.4)**

Etape funcționare	I		II		III	
1	2		3		4	
Începere	10^{50}		11^{58}		19^{40}	
Terminare	11^{57}		19^{39}		20^{57}	
Durată	1 h 7 min		7 h 41 min		1 h 17 min	
Materiale într-o benă de încărcare	kg	%	kg	%	kg	%
— recirculate	68,0	48,6	15,9	11,5	68,0	48,6
— fier vechi	68,0	48,6	18,1	13,1	68,0	48,6
— aşchii de fontă	—	—	102,0	73,7	—	—
— cocs	16,8	—	—	—	16,8	—
— calcar	6,5	—	—	—	5,7	—
— Fe-Si	3,6	2,6	2,0	1,5	3,6	2,6
— Fe-Mn	0,34	0,2	0,34	0,2	0,34	0,2
		100,0		100,0		100,0

Scanned with OKEN Scanner

consumul de cocs (fig. 8.11, *b*) [5]. Au fost urmărite în mod special în acest sens șarjele 8—12, la care nisipul (98% SiO_2) s-a insuflat în zona instalației cu plasmă la un debit de 2,27 kg nisip/min și șarja 15, la care s-a realizat un amestec cocs-nisip, în ultimul caz realizîndu-se valori mai

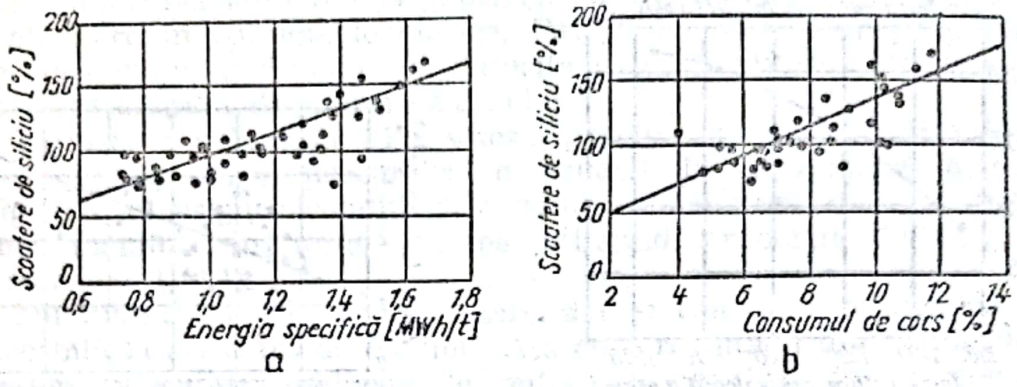


Fig. 8.11. Influența energiei specifice (*a*) și a consumului de cocs (*b*) asupra scoaterii de siliciu în cubiloul cu plasmă EPRI.

mari ale gradului de recuperare a siliciului. Se economisesc astfel mari cantități de FeSi.

Se remarcă de asemenea faptul că și în cazul în care se utilizează FeSi pentru aliere (ex. șarja nr. 16), pierderile prin ardere au fost foarte mici, acestea fiind compensate de către regenerarea siliciului din zgură, astfel că pe ansamblu conținutul de siliciu al fontei crește (scoatere siliciu — 112%). Din bilanțul de materiale realizat în cazul șarjei 13 A (tabelul 8.7), a rezultat o scoatere totală de metal de 98,5%.

Tabelul 8.7. **Utilizarea nisipului pentru alierea cu siliciu a fontei în cubiloul cu plasmă EPRI**

Nr. șarjă	Siliciu în încărcătură, %		Siliciu în fontă, %	Scoatere siliciu, %	
	Fără nisip	Cu nisip		Fără nisip	Cu nisip
1	2,40	—	2,05	85,4	—
2	2,40	—	2,11	87,9	—
3	2,41	2,46	2,29	94,9	93,1
4	2,64	2,74	2,39	90,7	87,2
5	2,37	2,96	2,22	93,7	74,9
6	2,48	2,70	1,98	80,0	73,4
7	2,33	2,68	1,93	82,7	71,9
8	1,86	2,14	1,80	97,0	84,2
9	1,80	2,68	1,66	92,1	62,0
10	1,25	2,81	1,65	132,3	58,7
11	1,46	3,57	2,10	143,4	58,8
12	1,25	1,81	1,52	121,6	83,8
13 A	2,58	—	2,20	85,2	—
13 B	2,45	—	1,86	75,8	—
14	2,48	—	2,51	101,1	—
15	1,56	3,05	2,55	163,6	83,5
16	2,65	—	2,98	112,5	—

Aceste cubilouri pot lucra cu zguri bazice, fără ca acest lucru să determine pierderile mari de siliciu, caracteristice cubilourilor clasice cu căptușeală bazică, la care constituie un dezavantaj deosebit de important. Posibilitatea obținerii unor fonte cu sulf scăzut, la un siliciu corespunză-

Scanned with OKEN Scanner

tor, recomandă aceste cubilouri pentru fabricația fontelor cu grafit nodular. Este luată în considerare și posibilitatea injectării magneziului în cubilou, cu un grad de asimilare suficient pentru a obține fonte cu grafit nodular [4, 6].

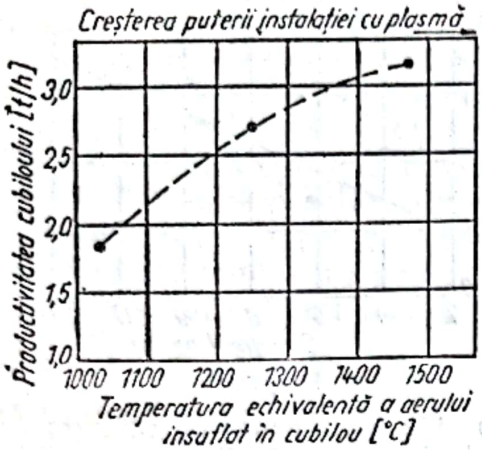


Fig. 8.12. Influența puterii instalației cu plasmă, asupra productivității cubiloului cu plasmă EPRI.

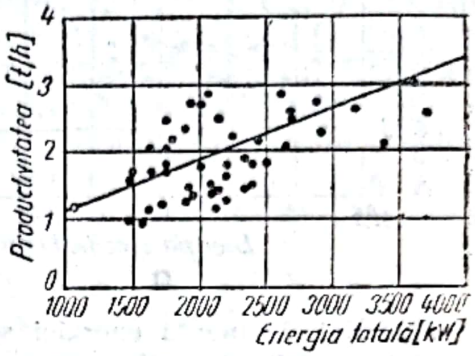


Fig. 8.13. Influența energiei totale consumate asupra productivității cubiloului cu plasmă EPRI.

Capacitatea de topire și supraîncălzire a fontei. Temperatura din zona de topire a cubiloului este reglată prin puterea instalației cu plasmă, fiind mult mai mare decît la cubilourile clasice.

Viteza de topire este puternic influențată de puterea instalației cu plasmă, prin intermediul căreia se poate controla topirea, independent de restul proceselor metalurgice.

Astfel, în cazul cubiloului cu plasmă EPRI, la șarja nr. 3 (v. tabelele 8.4 și 8.5), a fost variată puterea instalației cu plasmă în domeniul 474 . . . 705 kW, în condițiile păstrării constante a principalilor parametri ai cubiloului. Această acțiune a echivalat cu mărirea substanțială a temperaturii aerului insuflat, obținîndu-se astfel o creștere a productivității cubiloului cu peste 50% (fig. 8.12).

Tabelul 8.8. **Eficiența utilizării cubiloului cu plasmă în mai multe turnătorii de fontă din S.U.A.**

Nr. crt.	Agregat de elaborare a fontei înlocuit	Cantitatea* de fontă t/h	Economii la costul de producție (dol./t) datorită:		Termen de recuperare ani
			Materiale încărcătură	Energie	
1	Cubilou cu aer cald	35	29,0	3,30	1,5
2	Cubilou cu aer cald	35	28,4	3,40	1,6
3	Cubilou cu aer cald	40	24,2	7,70	1,6
4	Cubilou cu aer cald	30	15,30	1,25	4,2
5	Cubilou cu aer cald	15	34,40	1,65	1,6
6	Cubilou cu aer cald	45	28,00	5,70	1,4
7	Cuptor cu inducție	40	20,70	14,20	2,3
8	Cuptor cu arc	65	28,00	30,00	1,3
9	Cubilou cu aer cald	40	17,90	1,50	1,9
10	Cuptor cu inducție	5	23,20	9,00	8,4
11	Cubilou cu aer cald	45	49,00	7,20	0,6

* Fontă produsă în unul sau mai multe cubilouri.

Scanned with OKEN Scanner

Capacitatea de topire a acestui tip de cubilou este determinată de consumul total de energie (cocs+plasmă), așa cum rezultă și din fig. 8.13.

O capacteristică specifică acestui tip de cubilou este posibilitatea utilizării în încărcătură a unor mari cantități de așchii, inclusiv a celui de foarte mici dimensiuni (de la găurire). Aceste materiale nu pot fi utilizate ca atare în cubilourile clasice, fără brichetare, operație greoaie și mare consumatoare de energie, datorită oxidării puternice a acestora și blocării instalațiilor de epurare a gazelor.

Reducerea volumului și a vitezei gazelor ca și a contrapresiunii în cubilou (v. fig. 8.8, *g*) precum și a capacității de oxidare a gazelor (v. fig. 8.8, e) asigură condiții favorabile topirii unor mari cantități de deșeuri metalice mărunte, acestea atingînd proporții de 70 . . . 75% (v. tabelele 8.3, 8.4).

Nu numai capacitatea de topire dar și cea de supraîncălzire este remarcabilă la acest tip de cubilou. Așa cum rezultă și din tabelul 8.5, se pot obține temperaturi ridicate ale fontei și în condițiile în care consumul de cocs, respectiv înălțimea patului de cocs, se află la valori reduse. Mai mult decît atît, s-au obținut fonte cu temperaturi ridicate și în cazul în care peste 60% din cocs a fost înlocuit cu cărbune (antracit).

Ca și productivitatea cubiloului, și capacitatea de supraîncălzire a fontei poate fi reglată rapid, prin intervenții operative asupra puterii instalației cu plasmă. Astfel, la cubiloul EPRI, s-a înregistrat o creștere a temperaturii fontei la 3—4 min din momentul intervenției, o mărire cu 25 kW a puterii instalației echivalînd cu o creștere cu 2,8°K/min a temperaturii fontei.

5. Costuri și eficiență economică

Posibilitatea utilizării în încărcătura cubiloului a unor mari cantități de materiale rezultate din recuperări, respectiv fier vechi, așchii etc. precum și înlocuirea FeSi cu nisip constituie principalii factori ce conduc la eficiența acestui tip de cubilou. Astfel, urmărind costul elaborării fontelor în mai multe turnătorii din S.U.A., în condițiile utilizării instalațiilor cu plasmă, în lucrarea [3] se evidențiază faptul că în toate cazurile s-au obținut economii, îndeosebi ca urmare a reducerii costului încărcăturii metalice (tabelul 8.8). Trebuie remarcat faptul că au fost și situații în care au fost raportate economii importante și ca urmare a reducerii costului energiei totale consumate, deși a crescut consumul de energie electrică, a cărui cost este mai mare decît al combustibililor fosili.

Astfel, în S.U.A. sînt raportate economii nete, în cazul cubiloului cu plasmă, de ordinul a 20 . . . 60 dolari/t fontă, 80% din aceste economii fiind datorate încărcăturii metalice ieftine (șpan, așchii etc.), 20% fiind atribuite costurilor totale de energie mai scăzute (cocsul scade în mare măsură) și recuperării siliciului (pierderi foarte mici de siliciu și posibilitatea regenerării acestuia din nisip) (fig. 8.14) [3]. În lucrarea [8] se remarcă reducerea costului producției cu peste 30%.

Costul instalației cu plasmă este de ordinul a 270 dolari/kW, ajungîndu-se la 620 . . . 730 dolari/kW ca urmare a cheltuielilor suplimentare de instalare, control, modificări ale cubiloului și transformări de construcție și amplasare. Experiența utilizării acestor cubilouri în S.U.A. arată că

Scanned with OKEN Scanner

aceste cheltuieli, relativ ridicate, sînt amortizate în 1 . . . 3 ani de utilizare (v. fig. 8.14), funcție de capacitatea turnătoriei (mărimea cubiloului), costul local al electricității, disponibilitatea aşchiilor etc. Eficacitatea acestui sistem de topire este accentuată şi de lărgirea gamei de acțiune referitoare la componența încărcăturii metalice şi a materialelor de adaos precum şi a raportului cocs/plasmă.

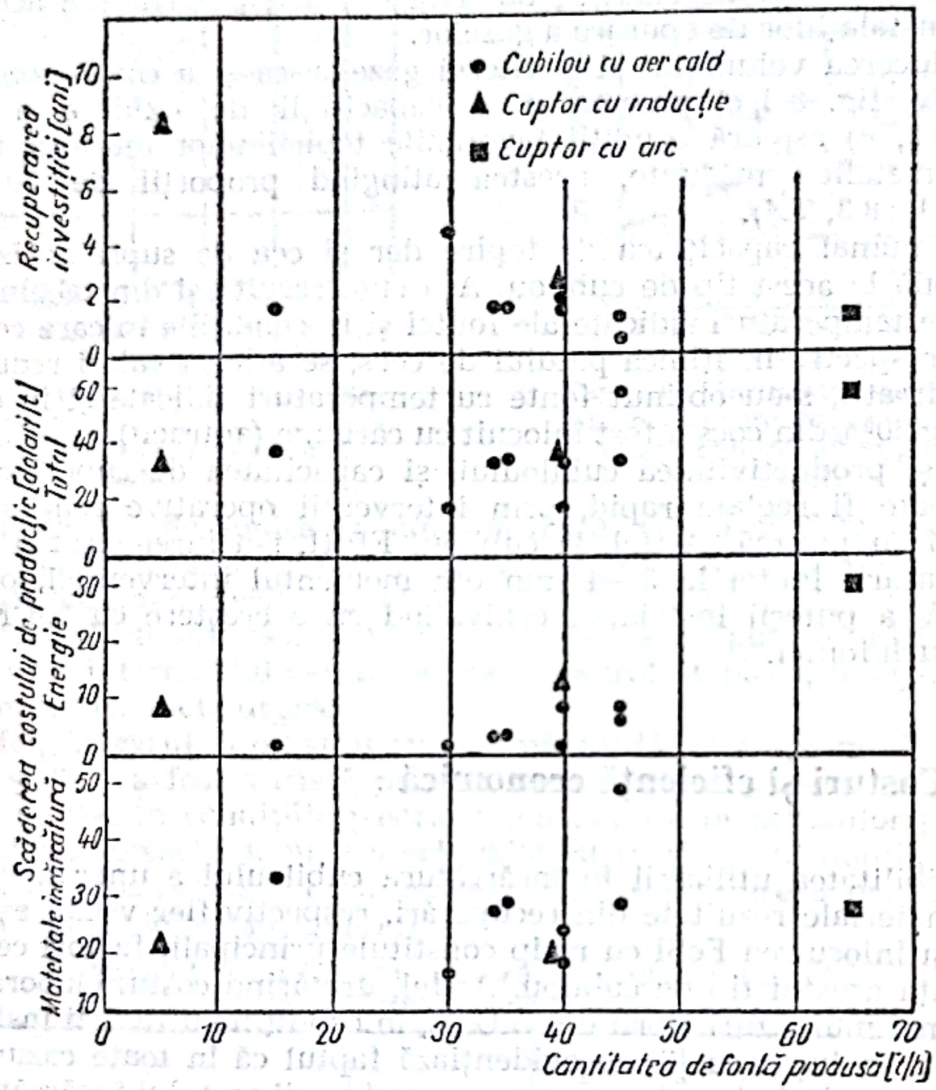


Fig. 8.14. Costul elaborării fontei în cubiloul cu plasmă, funcție de cantitatea totală de fontă produsă, în raport cu alte agregate de elaborare.

Aplicabil îndeosebi în turnătoriile de mare capacitate, la cubilourile cu productivitate ridicată (v. tabelul 8.8), (v. fig. 8.14), acest sistem de topire dă rezultate bune, în multe cazuri şi la cubilourile mai mici, ca de exemplu la un cubilou Modern Equipment cu productivitatea de 5 t/h [3].

Cubiloul cu plasmă şi-a dovedit eficacitatea şi în cazurile în care încărcătura metalică nu conține aşchii, iar consumul de cocs este relativ ridicat (8 . . . 9%), aşa cum rezultă din tabelul 8.2 [12]. Reducerea ponderii fontei de furnal în favoarea creşterii ponderii fierului vechi a contribuit la micşorarea costului încărcăturii metalice, chiar dacă au fost necesare cantități mai mari de feroaliaje. La aceasta se adaugă economii datorate unui consum de cocs mai redus cu 10 . . . 15% şi eliminării necesității oxigenului suplimentar. Cheltuielile mai mari cu energia electrică

Scanned with OKEN Scanner

(care a fost totuși limitată la max. 150 kWh/t) și cu exploatarea acestui cubilou nu au acoperit economiile, astfel că pe ansamblu s-au obținut economii anuale importante. Investiția la acest cubilou poate fi amortizată în max. 2,2 ani [12].

6. Concluzii

Deși aflată încă într-o fază incipientă, fără evidențierea întregului său potențial, tehnologia elaborării fontei în cubiloul cu plasmă se dovedește de pe acum a constitui o soluție pentru producerea fontelor de înaltă calitate, în condiții economice. În acest sens se pot sublinia următoarele:

a) Supraîncălziri accentuate ale aerului (600 . . . 1 500°C, cu perspectiva creșterii) la trecerea acestuia printr-o instalație ce realizează un proces de ionizare prin descărcare în arc electric, constituie o soluție energetică eficientă, la un randament de transformare a energiei electrice în energie termică de 85 . . . 90%. Randamentul termic al cubiloului crește și mai mult, în cazul în care prin instalația cu plasmă este trecută și o parte din gazele de cubilou, captate sub nivelul gurilor de aer;

b) Posibilitatea eliminării fontei de furnal și utilizarea unei încărcături metalice formată numai din deșeuri, între care cele de mici și foarte mici dimensiuni au o pondere foarte ridicată (50 . . . 75%).

c) Utilizarea unor consumuri reduse de cocs (2 . . . 5%), inclusiv posibilitatea apelării la unul de calitate mai slabă (granulație mai mică, reactivitate mai mare, sulf mai ridicat etc.) sau chiar înlocuirea acestuia cu cărbune (ex. antracit).

d) Reglarea rapidă a productivității și capacității de supraîncălzire a cubiloului, prin intervenții asupra puterii instalației cu plasmă, consumul de energie electrică putînd să varieze în limite largi (100 . . . 1 600 kWh/t). Apare posbilitatea separării proceselor de topire de cele de realizare a fontei, de o compoziție chimică controlabilă.

e) Obținerea siliciului prin reducerea SiO_2, din zgură sau introdus în mod special în cubilou în acest sens, sub formă de nisip, creează posibilitatea înlocuirii pe această cale a FeSi.

f) Conținutul scăzut de sulf al fontei, controlul mai riguros al compoziției chimice, absența fontelor de furnal în încărcătură etc. creează premizele obținerii unor fonte de înaltă calitate.

g) Cubiloul cu plasmă este capabil de o serie de alte performanțe, în curs de testare, precum: reducerea în cubilou a minereului de fier, injectarea prafului de cărbune etc.

h) Arcul electric cu plasmă își extinde aria de utilizare și asupra altor domenii metalurgice: recuperarea unor elemente utile (Zn, Pb, Cr etc.) din praful rezultat de la cuptoarele cu arc, procese de reducere în metalurgia fontei și oțelului (inclusiv reducerea directă a minereului de fier), încălzirea topiturii în oală, retopirea (inclusiv superficială), producerea cuarțului prin topirea nisipului etc.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. RIPOȘAN, I. Perfecționări constructive și tehnologice ale cubiloului la 125 de ani de existență. În: Metalurgia, nr. 12, 1985, p. 663—670; nr. 1, 1986, p.
2. RIPOȘAN, I., SOFRONI, L. Considerații privind perfecționarea tehnologiei de elaborare a fontei în cubilou în vederea utilizării cocsului mărunt de calitate inferioară. În: Metalurgia, nr. 6, 1987, p. 281—290.
3. MOORE, T. Plasma Retrofit Offers Benefits Throughout the Foundry. În: Casting World, Spring 1987, p. 34—38.
4. HEINE, H. J. Plasma-Fired Cupola Promises Melting Economies. În: Foundry Management and Technology, nr. 3, 1986, p. 28—30.
5. DIGHE, S. V. ș.a. Plasma-Fired Cupola: An Innovation in Iron Foundry Melting. AFS Casting Congress, 11—15 mai, 1986, lucrarea 86—58. În: Giesserei-Praxis, nr. 8, 1987, p. 107—114.
6. CARTER, S. F., KAISER, F. T. The Plasma-Fired Cupola. An Operator's Appraisal and Economic Projections. În: AFS Transactions, vol. 94, 1986, p. 809—814.
7. DWYER, J. J. The Promise of Plasma. În: Metal Producing, nr. 2, 1984, p. 33—41.
8. MOORE, T. The Plasma torch: revolutionizing the foundry fire. În: EPRI Journal, octombrie 1986, p. 12—19.
9. CAMACHO, S. L. Plasma arch torch technology: its technical merits and application potentials in metallurgy. În: AFS Transactions, vol. 94, 1986, p. 765—776.
10. DOAT, R., VITRY, G., TRASSY, C., PREVOT, P. Le Cubilot Electro-Renforce. În: Hommes et Fonderie, august—septembrie, 1986, p. 9—13.
11. FEY, M. G. Plasma-Fired Cupola. În: Iron and Steel Engineering, mai 1985, p. 38—45; Giesserei, nr. 14/15, 1986, p. 446.
12. GIRARD, A., PHILIPPI, L., MILLION-ROUSSEAU, B. Le Cubilot électro-renforce par torche à plasma. Al 55-lea Congres Internațional de Turnătorie, Moscova, 1988.

Scanned with OKEN Scanner

9.
Sisteme flexibile de prelucrare prin aşchiere

Prof. dr. ing. *Vasile Moraru*
Şef lucr. dr. ing. *Dumitru Catrina*
Prof. dr. ing. *Ştefănuţă Enache*

1. Istoric şi evoluţie

După un secol şi jumătate de copilărie tehnică industrială, Taylor, în deceniile 3—4 ale secolului nostru, a specializat producţia în adîncime, descompunînd activităţile în componentele lor elementare, repetitive la un interval de timp scurt, denumit tact, componente elementare executate de persoane specializate, realizînd producţie de mare serie în cadrul unor linii de fabricaţie rigide, cu tact impus. Era perioada în care golul tehnic mondial trebuia umplut cît mai repede, ceea ce impunea în primul rînd productivitate ridicată.

Treptat, producţia s-a diversificat imens sorto-tipo-dimensional, înmulţindu-se numărul ramurilor industriale, crescînd exponenţial numărul variantelor şi scăzînd în consecinţă dimensiunile lotului de piese identice.

Astăzi, se apreciază că în ţările dezvoltate industrial, 70% din piese se produc în serii mici, de 50—100 bucăţi identice. Avînd în vedere că timpul de staţionare a piesei pe maşină reprezintă numai 5% din timpul total de staţionare a piesei în atelier, şi că din aceşti 5%, timpul efectiv de prelucrare reprezintă numai circa 30%, s-a impus ca necesară o nouă strategie de organizare a producţiei. Flexibilitatea acesteia, stimulată de scăderea vertiginoasă a preţurilor componentelor electronice, răspunde la două imperative: reconfigurarea sistemului de producţie pentru prelucrarea de piese diferite şi scurtarea timpului de deservire a consumatorului conform preferinţelor sale.

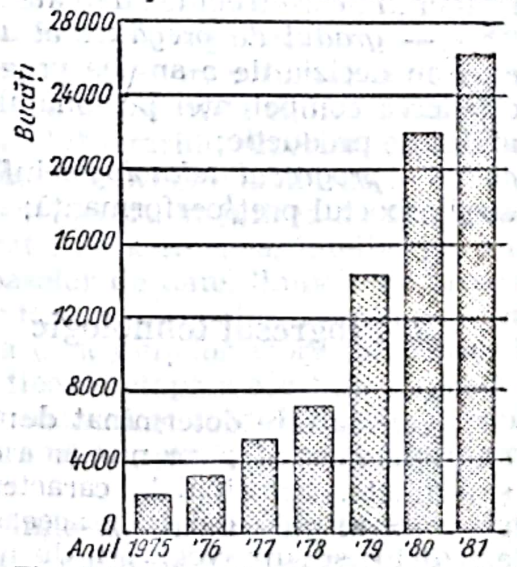


Fig. 9.1. Producţia de maşini-unelte cu CN în Japonia în perioada 1975—1981.

În evoluţia fabricaţiei flexibile, conduse de calculator, se disting trei etape:

— automatizarea maşinilor izolate, începută prin 1945—50 prin apariţia maşinilor-unelte cu comandă numerică, fază aflată în continuă ascensiune (fig. 9.1);

Scanned with OKEN Scanner

— integrarea mașinilor izolate în sisteme, proces complex care solicită mari investiții, într-o nouă competiție tehnică și financiară, proces care deschide largi perspective ameliorării productivității prelucrării loturilor mici și mijlocii de piese;

— producție integrată de calculator, în care diversele funcții tehnice și administrative-proiectare constructivă și tehnologică, controlul calității, planificarea operativă și ordonanțarea, gestiunea economică — sînt realizate cu calculatorul.

Două invenții au stat la baza succesului de astăzi al automatizărilor flexibile: calculatorul numeric, apărut prin 1950; circuitele integrate, apărute prin 1970.

2. Factori ce influențează difuzia SF

SF complexe nu pot fi utilizate plenar decît într-un număr limitat de întreprinderi mari din sectoarele producătoare de mijloace de transport terestre, navale, aeriene, din industria electrotehnică, din industria producătoare de mașini-unelte.

Perfecționarea ulterioară a tehnologiei, utilizarea experienței și dobîndirea competenței fac posibilă pătrunderea *SF* și în întreprinderi de dimensiuni medii, acolo unde se manifestă o puternică concurență internațională, *SF* devenind un factor deosebit de important în obținerea competitivității. Viteza de răspîndire a *SF* depinde de o serie de factori, între care:

— *conjuctura economică*: dacă activitatea economică este prosperă, sînt relativ facil de realizat condițiile necesare asigurării unui randament ridicat al *SF*, mai ales în sectoarele caracterizate prin stabilitate și tendință de creștere continuă a productivității;

— *structura ofertei*: vînzarea de mașini-unelte, roboți industriali, manipulatoare, vehicule ghidate automatizat insuficient cunoscute sau fără motivările necesare, nu pot conduce la asumarea responsabilității de a instala *SF*, care trebuie adaptate la cerințele beneficiarului;

— *gradul de pregătire al utilizatorilor potențiali:* pregătirea se traduce în decizia de a angaja programe de formare pe termen lung pentru obținerea competenței personalului în organizarea de anasamblu a sistemului de producție;

— *progresul tehnologic* influențează capacitatea de ansamblu a *SF* ca și raportul preț/performanță;

3. Progresul tehnologic

Acesta este determinat de: a. **Mașini-unelte.** Sînt preferate centrele de prelucrare, al căror număr a crescut rapid în totalul vînzărilor de mașini-unelte. Principalele caracteristici: operații multifuncționale, numeroase, ce se pot executa în aceeași prindere a piesei, schimbarea automată a sculelor și supravegherea duratei de funcționare a acestora, schimbarea automată a piesei și capacitatea de a funcționa fără operator, fac din centrul de prelucrare mașina-unealtă cu comandă numerică dintre cele

Scanned with OKEN Scanner

mai preferate. Se menționează centrele de prelucrare prin strunjire cu axa *C* comandată numeric, capabile să execute și operații de găurire sau frezare în poziții unghiulare determinate, ca și centrele de prelucrare capabile să realizeze mai multe operații simultan, de găurire și frezare. Dotarea centrelor de prelucrare sau a mașinilor agregat cu magazine și schimbătoare automate de capete multiax multiplică debitul de așchii și puterea consumată, ceea ce face necesară ameliorarea rigidității structurii.

În acest domeniu, înlocuirea fontei cu amestec de beton-rășini este promițătoare prin amortizarea excelentă și prin rigiditatea statică și dinamică ridicate.

b. **Roboți de alimentare.** Ameliorarea continuă a sistemului de conducere, interacțiunea lui cu traductoare de precizie, vor conduce probabil la utilizarea roboților mobili, care se vor deplasa de la un punct la altul în interiorul atelierului, pe vehicule ghidate automatizat, pentru executarea diverselor sarcini de producție.

c. **Sistemul de control.** În cadrul acestuia se detașează *traductoarele* pentru controlul funcționării mașinilor-unelte, al roboților, al poziției și uzurii sculelor, al poziției și dimensiunilor piesei înainte, în timpul sau după terminarea procesului de așchiere.

Dintre noile tehnici aplicate, se menționează: analiza vibrațiilor și emisiunilor acustice ale sculei în așchiere, pentru prevenirea ruperii sau uzurii excesive; măsurarea puterii și cuplului de torsiune pentru micșorarea intensității uzurii sculei și prevenirea schimbării premature; controlul forței dezvoltate de lanțul cinematic de avans; sisteme de vizualizare, cu numeroase aplicații în identificarea optică a pieselor și sculelor.

Mașinile de măsurat în coordonate, roboții de control constituie elementele centrale ale sistemului de control, cu care se pot realiza celule flexibile de control incluse în sistemul flexibil.

Principalul obiectiv al cercetărilor tehnologice în acest domeniu îl constituie obținerea unui sistem care măsoară în timp real variabile de la mașină, sculă și piesă, compară valorile măsurate cu cele impuse inițial și modifică automat mărimile caracteristice procesului în curs de desfășurare. Completarea cunoștințelor teoretice de azi cu elemente suplimentare despre procesul de așchiere, despre efectele diverselor materiale asupra sculelor așchietoare, reprezintă noi etape necesare în acest proces.

d. **Sistemul de conducere.** Numărul operațiilor, volumul datelor tratate în *SF* și integrarea lor necesită resurse informatice enorme. Compatibilitatea diverselor calculatoare de la nivelul ierarhic superior, cu echipamentele de comandă numerică și automatele programabile de la nivelul ierarhic inferior, este un factor important pentru stabilirea de protocoale de comunicare normalizate. Sînt implicate, de asemenea, inteligența artificială și sistemele expert, tehnologia bazelor de date, limbaje de programare foarte evoluate, sisteme de exploatare a resurselor. Pentru integrarea sistemelor sînt necesare: acoperirea cunoștințelor teoretice relativ la întregul proces de producție, pentru ca fiecare etapă a acestuia să poată fi descrisă în programe logice, ca și normalizarea și modularizarea mașinilor-unelte, a roboților și sistemelor de transport, manipulare și depozitare, a sistemelor de conducere.

e. **Tehnologii și materiale noi.** Mașinile-unelte actuale sînt concepute pentru prelucrarea fontei, oțelului, aluminiului, a altor cîteva materiale de uz larg. Cercetările în domeniul materialelor noi, ca și a tehnologiilor noi — metalurgia pulberilor, materiale ceramice și compozite, matrițarea

Scanned with OKEN Scanner

de precizie, prelucrarea cu laser, utilizarea plasmei, a fasciculului de electroni, a jetului de apă, modifică limitele tehnologice actuale cunoscute și vor influența rapid evoluția mașinilor-unelte.

f. **Scule așchietoare.** Se estimează că în țările dezvoltate industrial, valoric, producția de scule este de 2—2,5 ori mai mare decît producția de mașini-unelte. Producția de scule are de rezolvat ca principală contradicție, pe cea dintre interesele producătorilor, de a normaliza, tipiza și reduce numărul tipurilor, și interesele beneficiarilor, de a diversifica numărul tipurilor de scule așchietoare, conform cu particularitățile geometrice și constructive ale mașinilor-unelte și ale pieselor prelucrate. Pentru mașinile-unelte cu comandă numerică și centrele de prelucrare, s-au impus sisteme de scule așchietoare cu plăcuțe active din carburi metalice sinterizate schimbabile, acoperite și neacoperite, într-o gamă largă de variante dimensionale și constructive, cu posibilitatea utilizării unor regimuri de așchiere intensive, cu sau fără spărgător de așchii imprimat sau aplicat. Dintre acoperiri se citează acoperirile triple, cu strat de carbură, carbonitrură și nitrură de titan, care permit atingerea unor viteze de 150 m/min la prelucrarea inelelor de rulmenți, sau de 320 m/min la prelucrarea discurilor de frînă automobile, cu durabilitatea de 40 piese pe un colț așchietor al plăcuței.

Pentru strunjiri grele, la roțile de vagoane, executate din oțel turnat, avînd crustă, incluziuni și adaos de prelucrare neuniform (5—12) mm se folosesc plăcuțe rotunde cu diametrul (10—38) mm, acoperite cu carbură de titan, acoperirea fiind mai eficientă la viteze mari de așchiere la care se dezvoltă temperaturi ridicate și conducînd la creșterea durabilității cu (30 . . . 300)% față de utilizarea acelorași plăcuțe neacoperite.

Pentru frezarea chiulaselor, a blocurilor motoare s-au dezvoltat familii de plăcuțe rectificate pe contur și fațete, care asigură durabilitate ridicată și precizie dimensională. Alte familii de plăcuțe sînt cele pentru debitare și canelare, cele pentru capete de găurit adînc, la care plăcuțele se extrudează dintr-un amestec plastifiat de carbură metalică și emolienți.

Deosebite sînt plăcuțele pentru filetare, cu geometrie și precizie dimensională superioare, pentru prelucrarea mufelor, burlanelor, țevilor din industria petrolieră, la care, procesul tehnologic de obținere a plăcuțelor include operația de rectificare adîncă cu disc diamantat profilat, cu liant friabil.

4. Programe naționale de *SF*. Principale realizări

Țările europene își propun: a) să amelioreze nivelul cunoștințelor utilizatorilor, eventual prin programe speciale de pregătire; b) să promoveze cercetarea-dezvoltarea în universități, în institute de cercetare-proiectare și în industrie; c) să lărgească posibilitatea de producție a componentelor și a *SF* complete; d) să favorizeze o largă difuzie a *SF* în industrie.

Cadrul în care sînt înscrise programele naționale variază de la țară la țară, distingîndu-se: a) programe specializate destinate roboticii, sau *SF*, sau proiectării și producției asistate de calculator; b) programe generale informatice; c) politici industriale de ansamblu.

Scanned with OKEN Scanner

Finanțarea în cadrul programelor naționale se poate realiza prin:

a) subvenții selective directe, acordate pentru proiecte de cercetare-dezvoltare, pentru studii de fezabilitate, pentru investiții în sisteme pilot sau pentru investiții în general;

b) investiții indirecte, de exemplu măsuri fiscale speciale: cote de investiții cu amortizare peste 100%, prețuri rambursabile unice care să rentabilizeze investiția, condiții particulare de credit bancar.

În *Belgia* se efectuează cercetări în domeniul simulării, optimizării și planificării producției, metode de pregătire a programelor *CNC* pentru tehnologii de grup, roboți pentru alimentare.

Caterpilar a instalat în anul 1981 un *SF* pentru patru tipuri de locomotive, piese cu lungimi mari și greutăți pînă la 1,8 t. Sistemul conține 4 centre de prelucrare și două mașini de frezat, 6 posturi de control, 10 palete, 4 posturi de încărcare-descărcare.

Sistemul, evaluat la 26 milioane *DM*, necesită două echipe constituite din cîte doi încărcători și un agent de linie. În prealabil a fost construit un model detaliat pentru simularea logicii de comandă, model care a costat 40 000 *DM*.

În *Bulgaria* s-au realizat mai multe *SF* pentru prelucrarea a 8 familii capace de aluminiu pentru motoare electrice, pentru modularizarea asamblării motoarelor electrice mici.

În *Cehoslovacia*, în anul 1973 s-a lansat un program pentru dezvoltarea *SF* în cadrul căruia, începînd din anul 1984, trei *SF* funcționează fără personal. În anul 1981 a fost lansat un program guvernamental care prevede realizarea a 3 000 roboți și manipulatoare pînă în anul 1985, și 13 000 roboți și manipulatoare pînă în anul 1990.

În *Franța*, promovarea cercetării-dezvoltării se realizează în cadrul programelor care prevăd 2,3 miliarde *FF* pentru restructurarea industriei de mașini-unelte, și 1,2 miliarde *FF* pentru realizarea de roboți și manipulatoare la prețuri avantajoase.

Renault a inaugurat în anul 1982 un atelier flexibil pentru cartere de cutii de viteze, în componența căruia intră 4 centre de prelucrare, două schimbătoare de capete multiax, o mașină de alezat și frezat și un post de spălare piese. Atelierul a costat 45 milioane *FF*.

Citroen din Medon a realizat un atelier flexibil constituit din (fig. 9.2) două centre de prelucrare *CP*, patru robocare *RC*, un sector de tratament termic *TT* și o mașină de măsurat în coordonate *MM*. Atelierul a costat 46 milioane *FF* din care 28% pentru studii, cercetări, proiecte, și se amortizează în 3,2 ani, fiind destinat prelucrării chiulaselor, cutiilor de viteze și de diferențial, în serii medii de 15 piese. În trei schimburi se utilizează 26 operatori, față de 44 operatori la un atelier tradițional echivalent. Sistemul utilizează un magazin de palete *MP*, un magazin de scule *MS* și o mașină de măsurat scule.

În *R.D.G.* în cadrul unui program intitulat „Complexul de fabricație integrat", inițiat în 1975, s-au realizat mai multe *SF*, dintre care, mai importante sînt:

— *PRISMA 2*, realizat de F. HECKERT, cu 5 centre de prelucrare, 3 mașini de măsurat în coordonate, un post de frezare, două posturi de rectificare și superfinisare;

— *ROTA FZ 200* realizat la „7 OCTOMBRIE" din Berlin, constituit din 3 strunguri cu *CN*, două mașini de frezat dantură, o mașină de rotunjit dantură, o mașină de șeveruit și o instalație de curățare;

Scanned with OKEN Scanner

— *PC 3* este un sistem integrat foarte mare, pentru piese prismatice cu lungime pînă la 4 m și greutate pînă la 20 t. Transportul pieselor se face pe cărucioare, pe o linie lungă de 57 m care deservește 14 posturi de lucru, din care 5 sînt centre de prelucrare mari.

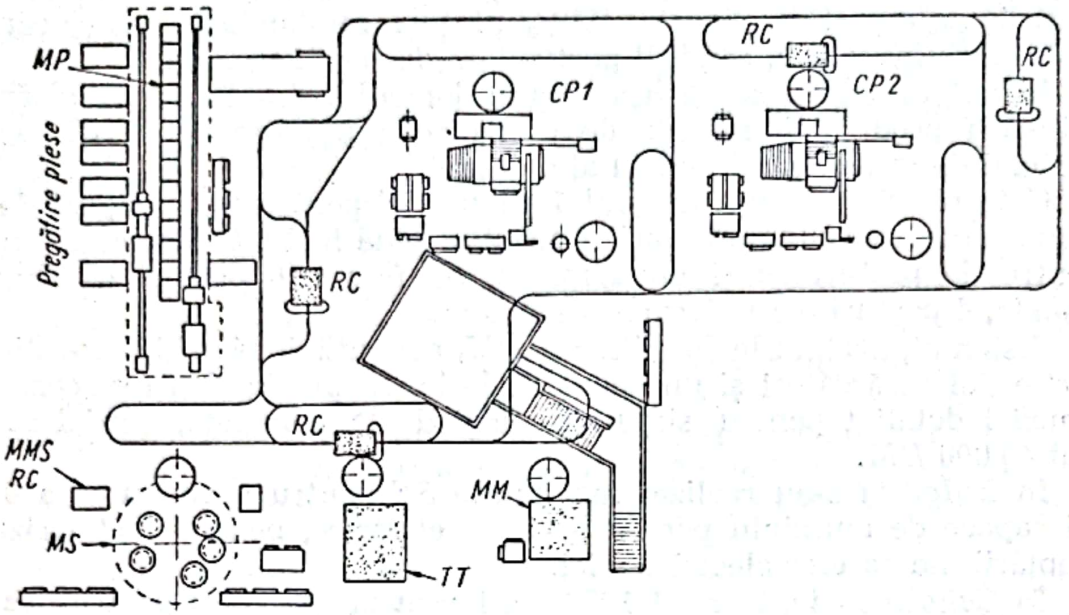


Fig. 9.2. Atelierul flexibil CITROEN din Medon.

Mai mult de 10 *SF* sînt instalate, ale căror avantaje majore sînt: creșterea productivității de 3—5 ori față de fabricația tradițională; economie de forță de muncă 70—80%; reducerea la jumătate a suprafeței ocupate în atelier.

În *R.F.G.* s-a instalat un atelier flexibil evaluat pentru prelucrarea componentelor aeronavelor, compus din 24 mașini-unelte cu 1—6 arbori principali. Sistemul de transport este prevăzut pe 3 nivele: la subsol, un conveior de așchii și sistem de recuperare și regenerare lichid de ungere-răcire scule, la sol, vehicule ghidate automatizat pentru transportul pieselor, și la etaj, un monorai pentru transportul celor 1 500 scule între un magazin central și magazinele mașinilor-unelte. Costul total al investiției este de 50 milioane dolari. Față de un sistem de fabricație clasic echivalent, se reduce timpul de fabricație cu 26%, suprafața atelierului se reduce cu 39%, necesarul de operatori cu 44% și numărul de mașini-unelte de asemenea cu 44%.

În *Italia*, Mandelli a realizat un atelier de fabricație flexibil (fig. 9.3), compus din 5 centre de prelucrare *CP*, un robocar *RC*, 25 palete 1 000×1 250, 1 427 scule, un post de spălare piese *PSp*, destinat prelucrării a 62 componente ale centrelor de prelucrare și ale modulelor flexibile. Sistemul de comandă ierarhic este organizat pe trei nivele și este dirijat din sala calculatorului *C*. Schimbul de noapte este fără operator. Sistemul mai dispune de un post de control scule *SC*, un transportor de palete *TP*, un post de spălare *PSp* și un post de încercare *Pi*.

În *R. S. Cehoslovacia* KOVOSVIT a instalat un sistem flexibil pentru prelucrarea pieselor de rotație compus din șase strunguri *S* și două magazine de palete *MP*, dispuse de ambele părți ale robocarului *RC* (fig. 9.4). Timpul de livrare a pieselor și productivitatea sînt considerabil îmbunătățite față de situația anterioară.

Scanned with OKEN Scanner

TOS a instalat la OLOMOUC un sistem flexibil fără operator, denumit PVS 400 (fig. 9.5). Piesele prelucrate nu trebuie grupate în loturi, ci se pot introduce într-o ordine arbitrară. Sistemul se compune din 8 cen-

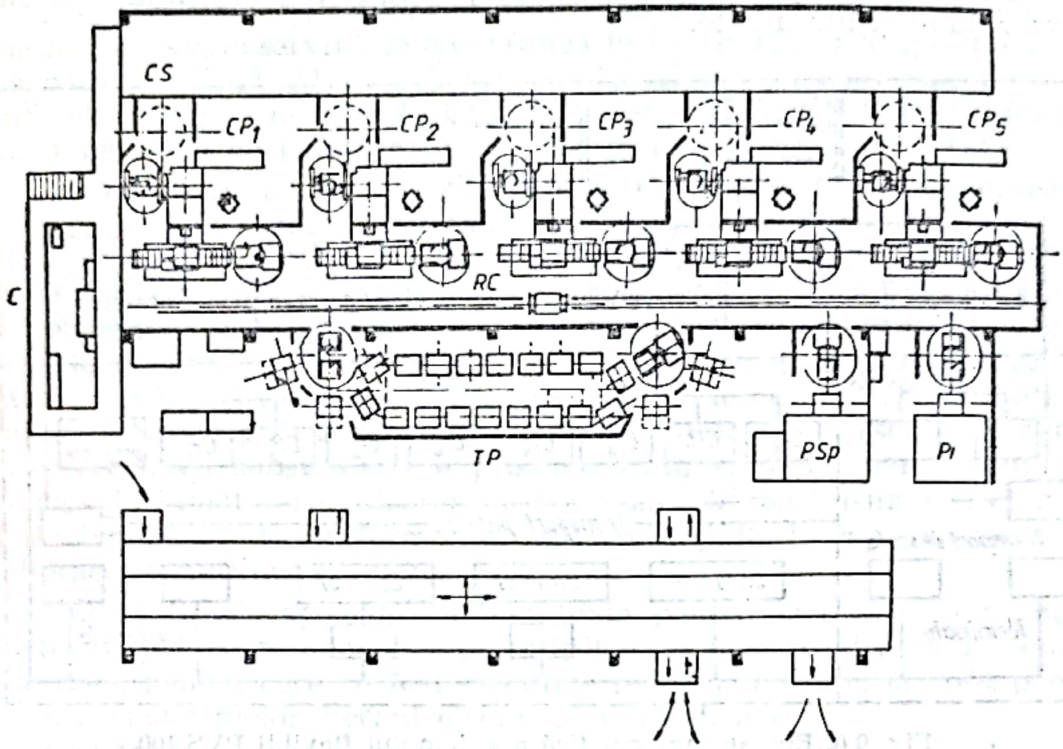


Fig. 9.3. Atelierul flexibil MANDELLI.

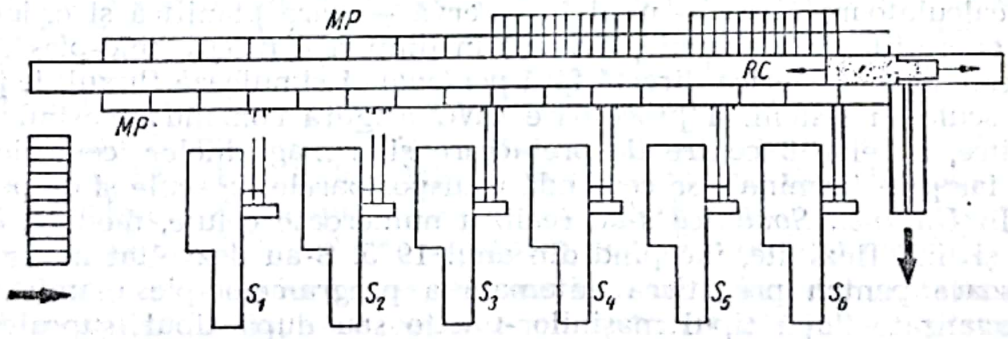


Fig. 9.4. Sistem flexibil pentru piese de rotație KOVOSVIT.

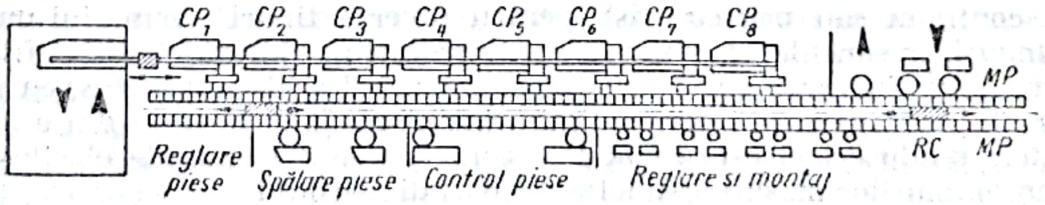


Fig. 9.5. Sistem flexibil pentru piese prismatice PVS 400 TOS-OLOMOUC.

tre de prelucrare *CP*, dispuse pe una din laturile robocarului *RC* și magaziilor de palete *MP*. Pe cealaltă latură se află stații pentru reglare scule, spălare piese, control piese, reglare și montaj.

Centrele de prelucrare sînt prevăzute cu dispozitive pentru controlul sculelor și măsurarea duratei de utilizare, ca și cu captori pentru controlul

Scanned with OKEN Scanner

calității piesei. Prelucrarea celor 40 tipuri de piese, grupate în 3 familii, se realizează în medie cu 20—25 scule, și necesită 55 min. Alte 15 min. sînt necesare pentru operațiile auxiliare. Magazinul central are 250 palete, 1 440 scule sînt grupate în 10 magazine, două dintre ele fiind centrale și 8 locale, la mașinile-unelte.

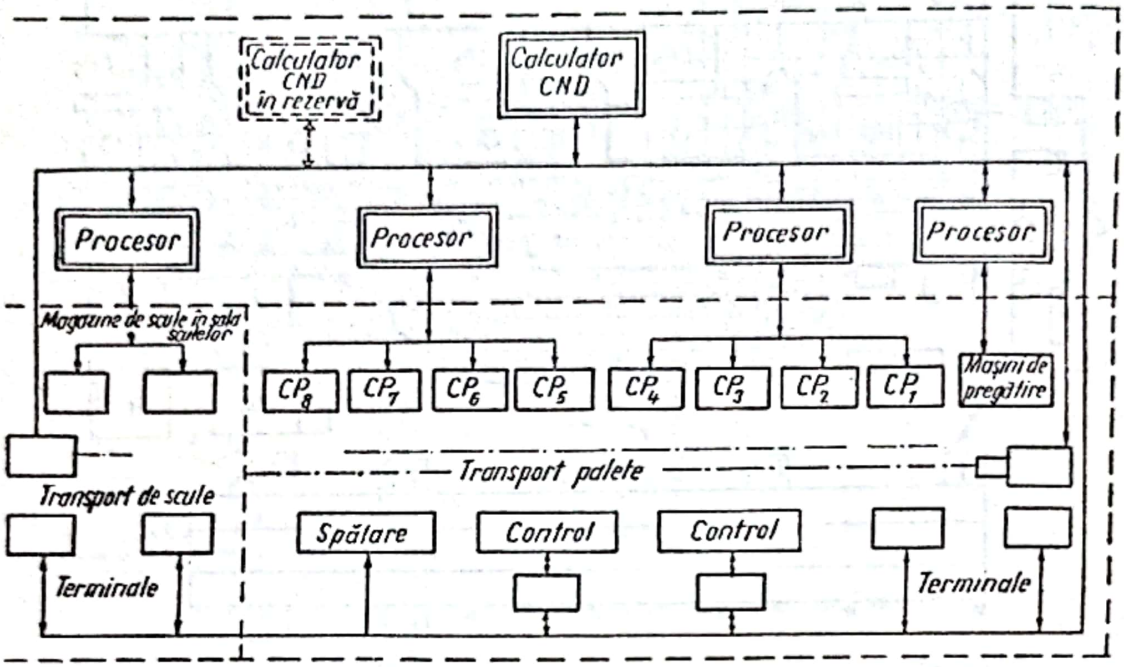


Fig. 9.6. Rețeaua informatică a sistemului flexibil PVS 400.

Sistemul de conducere este organizat ierarhic (fig. 9.6) și constă din două calculatoare *CND* — unul în rezervă — care planifică și ordonanțează operațiile de producție, livrează în timp real programele-piesă, asigură comanda numerică directă fără personal și simulează fluxul de piese și de scule în sistem. 4 procesoare *CNC* asigură comanda mașinilor de pregătire, a celor 8 centre de prelucrare și a magazinelor centrale de scule, iar prin terminale se comandă transportoarele de scule și de palete.

În *Uniunea Sovietică* s-au realizat numeroase celule, module, complexe și linii flexibile, începînd din anul 1975. S-au dezvoltat mai multe procesoare pentru pregătirea automată a programelor-piesă, universale și specializate după tipul mașinilor-unelte sau după tipul suprafețelor prelucrate. S-au executat numeroase tipuri de echipamente de comandă numerică, pentru diverse tipuri de motoare electrice de acționare (de curent continuu sau pas cu pas), pentru diverse tipuri de mașini-unelte (strunguri, mașini de găurit, mașini de frezat, mașini de alezat și frezat, centre de prelucrare), cu circuit informațional deschis sau închis, cu purtător de program bandă perforată sau bandă magnetică. Unul din echipamentele produse aici este capabil să compenseze deformațiile elastice ale subansamblurilor mașinilor-unelte de mari dimensiuni.

În *țara noastră*, în cadrul programului național de *SF*, adoptat de C.N.S.T., după sistemul compus din două strunguri paralele SP 125 Co, după sistemul compus din două strunguri frontale SF 400 *NCC*, după sistemul compus din două centre de prelucrare CPFH 500, a fost realizată linia flexibilă pentru prelucrarea tamburilor de frînă, mîndrie a industriei constructoare de mașini și electrotehnice din țara noastră, constituită din 8 strunguri verticale cu unul sau două platouri, o mașină de găurit și

Scanned with OKEN Scanner

filetat cu magazin de capete multiax și masă rotativă, și o instalație de conservare.

Linia, cu 8 strunguri verticale, înlocuiește 89 strunguri de același tip, dar izolate, cu care s-ar fi reușit realizarea unui tambur la un minut și jumătate, și este deservită de 5 operatori în loc de 89. Întreaga linie a fost concepută la ICSIT Mașini-Unelte și alte cîteva institute de cercetare științifică și inginerie tehnologică, a fost executată la I.M.U. Bacău și a depășit perioada de garanție la un beneficiar pretențios — R.D.G.

Japonia a inițiat un program denumit „proiect de mare amploare", pentru care au fost alocate 150 miliarde yeni, pentru: calculatoare de mare performanță (altele decît calculatoarele celei de a cincea generații), sisteme informatice de tratare a formelor, complexe de fabricație flexibilă cu laser, sisteme optice de măsurare și comandă, sisteme informatice de mare viteză destinate cercetării științifice și tehnice, roboți pentru operații delicate. Proiectul își propune să atingă următoarele obiective: automatizare care să permită lucrul 24 ore din 24, cu un minim de personal de supervizare; creșterea substanțială a productivității și reducerea timpului de producție la jumătate; realizarea de noi tipuri de mașini-unelte; elaborarea de tehnologii de performanță, aplicabile și în întreprinderile mici; ameliorarea condițiilor de lucru.

Măsuri fiscale speciale au fost luate pentru amortizarea roboților industriali, pentru promovarea investițiilor de mecatronică în întreprinderile mici, pentru care au fost efectuate reduceri cu pînă la 30% pentru promovarea sistemelor mecanice comandate electronic.

FANUC, unul din principalii producători mondiali de roboți industriali, de echipamente *CNC* și mașini-unelte, a pus în funcțiune o nouă uzină automatizată, în apropiere de Mont-Fuji. Uzina cuprinde o divizie de fabricare motoare, care produce lunar 10 000 motoare și servomotoare în 40 tipuri, și o divizie de mecatronică care, cu 100 persoane, produce 300 roboți, 100 mașini electrice și 100 mașini-unelte mici cu *CNC*.

Divizia de motoare electrice are o secție de prelucrare cu 60 celule echipate cu 52 roboți industriali și un mare număr de schimbătoare de palete. Schimbul de noapte este fără operatori. La etaj secția asamblare este compusă din 25 celule de asamblare, cu 49 roboți de montaj.

Conducerea fabricației se realizează cu un calculator instalat la periferia orașului Tokio, care conduce un sistem central de supraveghere a uzinei și un sistem central de fluxuri de materiale necesare. În total, 60 operatori față de 300 într-o uzină echivalentă, cu o productivitate de 10 000 motoare electrice pe lună, adică 167 bucăți lunar pe fiecare angajat, față de 33 bucăți lunar în uzina clasică echivalentă.

YAMAZAKI, unul din principalii fabricanți japonezi de mașini-unelte, a instalat în anul 1981, în orașul AICHI, un atelier flexibil, iar în anul 1983 a instalat „uzina fără muncitori a secolului XXI" în uzina sa din MINOKAMO.

Atelierul flexibil din Aichi produce lunar 1 040 piese mari pentru strunguri cu *CNC* și centre de prelucrare, în 74 tipuri diferite. Sistemul are 13 mașini cu 12 persoane, față de situația anterioară cînd erau necesare 36 centre de prelucrare deservite de 106 operatori în cele 3 schimburi; sistemul este instalat pe o suprafață de 3 000 m² față de 6 000 m², timpul mediu de livrare a comenzilor este de 4 săptămîni față de 3 luni, stocul intermediar este de 95 piese față de 1 785 piese în situația anterioară.

Scanned with OKEN Scanner

Uzina fără muncitori a secolului XXI din Minokama este concepută cu 88 mașini-unelte și 30 roboți, și este condusă de calculatorul instalat la o distanță de 20 km.

Uzina conține 5 ateliere: unul de prelucrări mecanice fără personal, un atelier foarte mare de mașini de înaltă precizie, un atelier de debitare și vopsire fără personal și două ateliere de asamblare, control și reglare a mașinilor-unelte cu *CNC* astfel produse. Diversele ateliere sînt separate prin culoare de 10 m lățime, echipate cu căi de transport pentru roboți care distribuie în întreaga uzină piese, materiale, diverse componente.

Atelierul de prelucrare produce 500 tipuri de piese diferite pentru mașini-unelte, cuprinse în 5 linii: linia de flanșe, cea de arbori, cea de cutii de viteze, linia de batiuri medii și linia de batiuri mari.

Întreaga mașină are 215 angajați, față de 2 500 persoane cît are astăzi o întreprindere de mașini-unelte cu o producție anuală de 230 milioane dolari anual.

5. Efectele introducerii *SF*

1. *Efectele tehnico-economice.* a. *Creșterea deosebită a productivității.* La exemplele citate, se mai adăugă unul semnificativ: firma elvețiană VOLVO realiza în anul 1983 18 automobile anual cu fiecare angajat. Aceeași firmă, într-o întreprindere din Kalmar, prima uzină din lume producătoare de automobile complet automatizată, realizează anual 50 automobile cu fiecare angajat, iar o nouă întreprindere a firmei GENERAL MOTORS, pe baza noilor tehnologii flexibile de producție, realizează anual 80 automobile cu fiecare angajat.

b. *Ciclul redus de prelucrare a pieselor.* Dacă se consideră timpul din momentul inițial al studiilor și pînă la obținerea pieselor ca 100%, atunci timpul efectiv de prelucrare este de 1%. Rezultă astfel rezerve serioase de timp pentru scurtarea ciclului de obținere a pieselor prelucrate.

c. *Micșorarea spațiului consumat în secție* este rezultanta creșterii productivității și a scăderii considerabile a stocurilor intermediare.

d. *Minimizarea pierderilor prin rebuturi* este rezultatul introducerii sistemului automatizat de control în cadrul sistemului flexibil.

e. *Volume mici de material și consumuri energetice reduse.* Folosirea pieselor ștanțate și a profilelor în locul pieselor turnate sau forjate, extinderea turnării de precizie, ecruisarea metalelor și extinderea acoperirilor metalice dau posibilitatea reducerii consumului de metal. Călirea izotermică a fontei aplicată de firma PONTIAC, a condus la economii de metal de pînă la 40% în comparație cu forjarea roților dințate din oțeluri înalt aliate, roțile dințate astfel obținute suportînd sarcini duble față de precedentele, din oțel.

La micșorarea pierderilor de materiale și de energie contribuie și tendința de a mări puterea instalată pe unitatea de greutate a mașinilor, tendință orientată spre creșterea productivității utilajelor și micșorarea indicilor de consum de materii prime, materiale și combustibili.

2. *Efecte sociale.* a. *Ergonomia și confortul locului de lucru.* Succesele obținute în introducerea noilor tehnici și tehnologii rezultă prin interacțiunea factorilor tehnologici, economici, organizatorici și psihologici. Se evită operațiile greoaie, monotone, repetitive, care solicită muncitorul

Scanned with OKEN Scanner

mai ales fizic, se introduc operații care pun în valoare potențialul creator al operatorului, stimulează inițiativa proprie. Se evită lucru în schimbul de noapte iar, prin introducerea *SF* cu autonomie de 48 ore, se evită și lucrul în zilele de sărbătoare.

b. *Policalificarea, creșterea nivelului calificării personalului.* Automatizarea numeroaselor activități de bază, auxiliare și de deservire conduce la scăderea numărului de operatori angajați direct în procesul de producție, în paralel cu creșterea substanțială a nomenclatorului meseriilor implicate. Aceasta necesită creșterea nivelului de calificare a personalului și policalificarea. Crește substanțial nivelul activităților tipic inginerești în realizarea proiectelor și execuția acestora, în realizarea de programe, care se constituie într-o adevărată industrie, pentru proiectare constructivă și tehnologică, pentru control, gestiune, planificarea și ordonanțarea producției. Se constituie largi colective interdisciplinare din specialiști în mașini-unelte, tehnologie, acționări electrice, acționări hidraulice, mecanică fină și optică, electronică și telecomunicații, automatizări și calculatoare, matematicieni, analiști, ingineri de sistem.

c. *Descentralizarea conducerii producției.* Actualul sistem de conducere ierarhic la marile întreprinderi este organizat pe circa 6 niveluri ierarhice de la operatorul direct productiv la directorul general. Dinamismul producției integrate permite ca deciziile intermediare să fie luate cu ajutorul calculatorului. Scăderea numărului nivelelor ierarhice la 3—4 este posibilă și ca urmare a reducerii numărului de oameni implicați în procesul de producție. În consecință scad dimensiunile compartimentelor financiar, contabil, urmărirea fabricației, cu creșterea substanțială a personalului angajat pentru punere în funcțiune și service, întreținere componente mecanice, electrice, hidraulice, electronice, ca și a specialiștilor angajați în concepție, proiectare, programare.

3. *Efecte științifice.* În afara noilor direcții de cercetare, prezentate în capitolul „progresul tehnic și tehnologic", alte resurse științifice imense legate de apariția și evoluția *SF* sînt reprezentate de modelarea și simularea funcționării *SF* înainte de a începe proiectarea unor asemenea sisteme extrem de costisitoare. Modelarea și simularea funcționării se utilizează în alegerea variantelor posibile, în validarea performanțelor sperate, în analiza viabilității sistemului, în evitarea blocărilor posibile, și au condus la dezvoltarea logicii multivalente și a mulțimilor vagi, a logicii și mulțimilor care, în afara valorilor de 0 și 1, acceptă și nuanțe intermediare între totul și nimic, între trece și nu trece. Ele implică utilizarea tehnicilor multicriteriale în adoptarea deciziilor de optimizare, utilizarea grafurilor de tip GRAFCET și a rețelelor Petri care apelează la poziții — evenimente și tranziții — condiții necesare îndeplinirii și efectuării evenimentelor. Modelarea și simularea au devenit atît de importante înaintea alocării fondurilor uriașe, încît le sînt dedicate conferințe întregi.

Sistemele flexibile au creat și dezvoltat, de asemenea, o întreagă industrie de programe pentru comanda mașinilor-unelte, a roboților industriali, pentru proiectare constructivă și tehnologică, pentru controlul, lansarea și urmărirea fabricației, pentru gestiune economică și ordonanțarea producției asistate de calculator.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. CHIRILĂ, O. *Scule moderne de înaltă productivitate pentru utilizarea pe mașini-unelte cu comandă numerică, centre și celule flexibile de prelucrare.* I.M.F. București, 1988.
2. MAKAROV I. M. ș.a. *Ghibkie avtomatizirovannie proizvodstvo v otrasliah promișlenosti.* Moskva, Visșaia Școla, 1986.
3. * * * *Tendences récentes de la fabrication flexible.* Nations Unies, New York, 1986.

Scanned with OKEN Scanner

10.
Rigiditatea statică a maşinilor-unelte

Prof. Dr. Ing. *Aurel Oprean*
Şef. lucr. Ing. *Nicolae Predincea*
Institutul Politehnic Bucureşti

1. Generalităţi

În înfăptuirea obiectivelor complexe prevăzute în documentele de partid şi de stat, sarcini deosebit de importante revin şi industriei constructoare de maşini pentru realizarea unor noi tipodimensiuni de maşini-unelte, în paralel cu dezvoltarea unor familii de maşini-unelte cu grad ridicat de automatizare şi precizie ridicată. Cu privire la precizia de prelucrare, în prezent 1/4 din toate piesele fabricate în construcţia de maşini sînt executate în clasa de precizie IT 6, iar circa 5% din întregul sortiment de piese necesită execuţia în clasa IT 4. Pentru anii '90 se prevăd modificări esenţiale şi anume, 25% din piese vor fi executate în clasa de precizie IT 5, iar circa 5% în IT 3, iar pînă la sfîrşitul mileniului, toleranţele pieselor din construcţia de maşini vor fi 1/5 din cele ale anilor '80. În acest context, se impune o evoluţie corespunzătoare a preciziei de prelucrare realizată pe maşini-unelte (fig. 10.1).

2. Bilanţul de erori ale piesei prelucrate

Precizia reprezintă un indicator de calitate care arată gradul de corespondenţă a condiţiilor tehnice reale de generare a suprafeţelor pieselor prelucrate cu valorile teoretice ale aceloraşi condiţii (de dimensiuni, de formă geometrică, de calitate a suprafeţei, de poziţie relativă a suprafeţelor componente) prescrise pe desenul de execuţie al piesei.

În cazul cel mai general, se consideră că precizia de prelucrare este o funcţie compusă de variabile independente p_k ($k=1, 2, \ldots, n$) — denumite abateri, funcţia precizie de prelucrare P_p putînd fi exprimată astfel:

$$P_p=p(p_1, p_2, \ldots, p_n). \tag{1}$$

Fiecare abatere este, la rîndul său, o funcţie compusă, rezultînd din interacţiunea influenţelor exercitate de un număr oarecare de factori independenţi, denumiţi convenţional erori de prelucrare:

$$p_k=p(x_1, x_2, \ldots, x_n). \tag{2}$$

După natura fenomenelor care le generează, erorile de prelucrare sînt sistematice sau aleatoare.

Scanned with OKEN Scanner

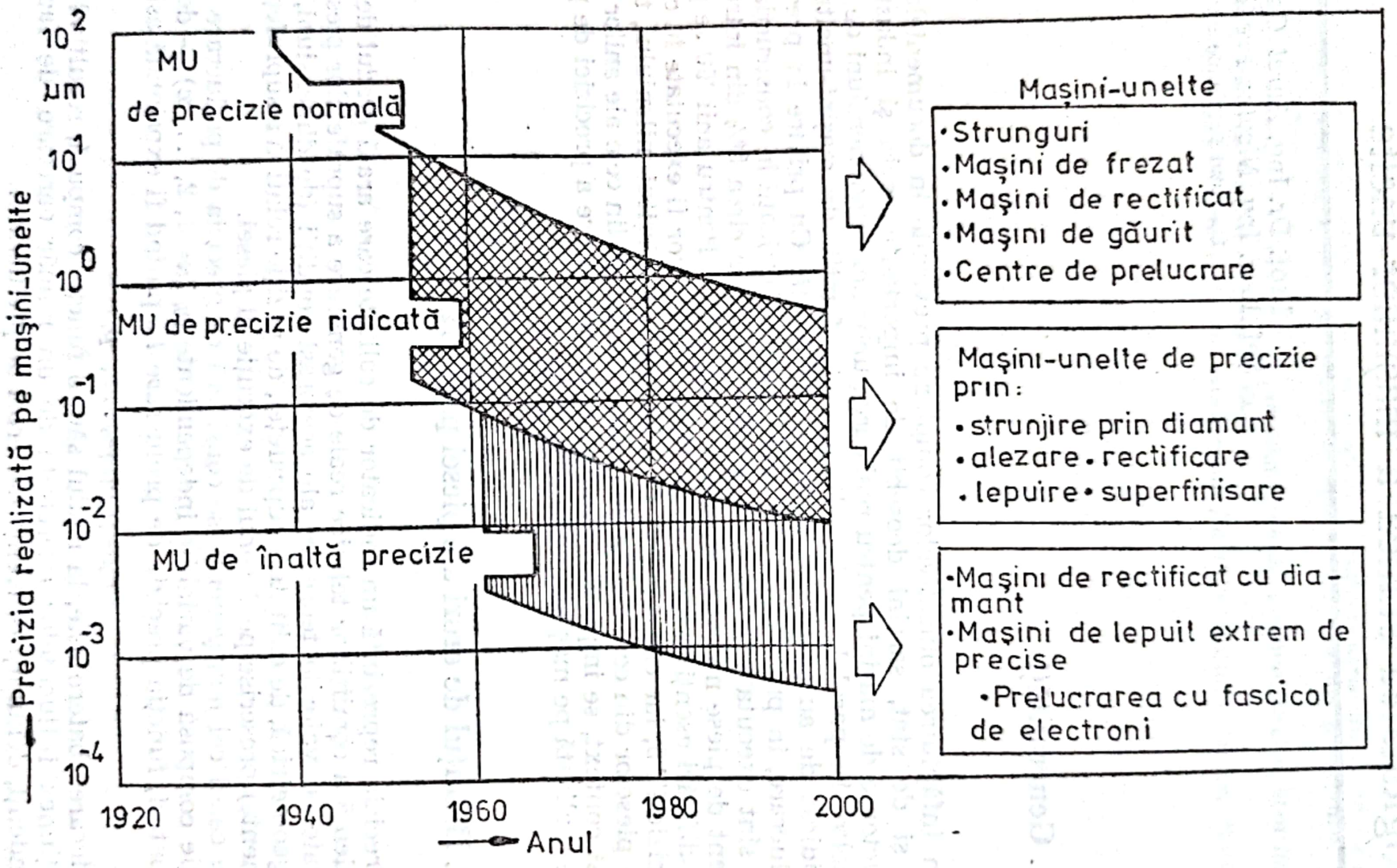


Fig. 10.1. Evoluția preciziei de prelucrare realizată pe mașini-unelte.

Scanned with OKEN Scanner

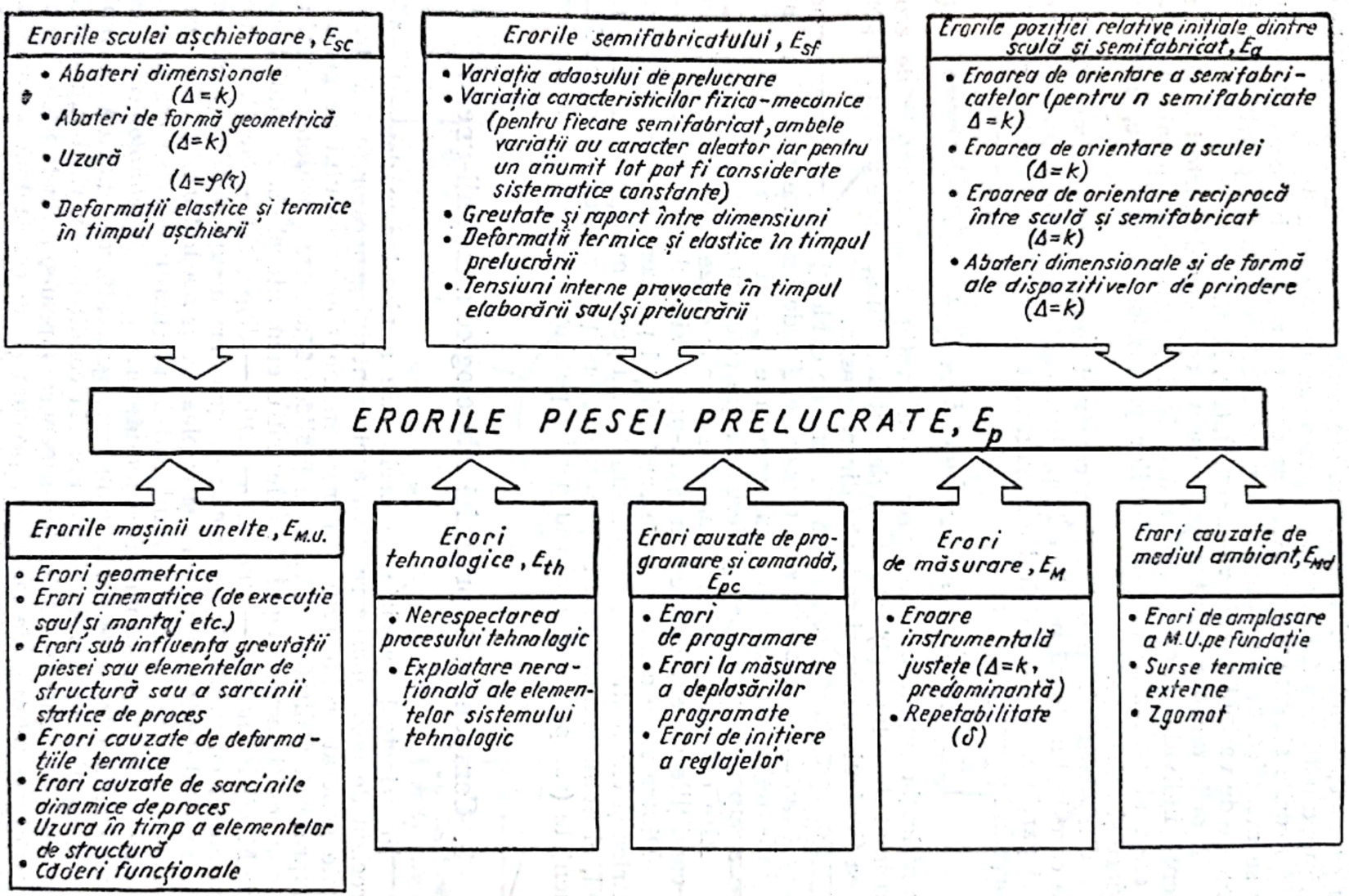


Fig. 10.2. Bilanţul de erori ale piesei prelucrate prin aşchiere.

Scanned with OKEN Scanner

Erorile sistematice au legi de variație cunoscute în funcție de care se disting *erori sistematice constante* și *erori sistematice variabile*. Pentru primele, caracteristica esențială o constituie valoarea lor nemodificată în timp, după legea $\Delta = k$, unde k este o constantă reală.

Erorile sistematice variabile se caracterizează prin aceea că valorile lor se modifică în timp după o lege variabilă exprimată printr-o funcție oarecare de variabilă reală $\tau - \Delta = \varphi(\tau)$, (fig. 10.2).

Erorile aleatoare sînt cauzate de un complex de factori a căror influență individuală nu poate fi depistată și înlăturată, manifestîndu-se ca efect al variabilității parametrilor proceselor de așchiere, generare, reglare și măsurare.

Convențional, se pot estima cele mai reprezentative erori sistematice care influențează precizia de prelucrare, iar sub forma unei sume de erori parțiale, se poate defini un așa numit „bilanț" al erorii totale — E_p, aparținînd piesei prelucrate:

$$E_p = E_{sc} + E_{sf} + E_a + E_{MU} + E_{th} + E_{pc} + E_M + E_{Md}, \qquad (3)$$

semnificația notațiilor fiind prezentată în fig. 10.2 „Bilanțul" de erori exprimat de relația (3) este simbolic, întrucît nu se poate determina ponderea fiecărui termen și acțiunea dintre aceștia.

Ponderea uneia sau alteia din erorile evidențiate este urmarea unor cauze obiective, deoarece sînt provocate, fie de anumite mecanisme ale mașinii-unelte, fie au ca origine condițiile specifice proceselor de generare a suprafețelor și de așchiere sau ale celor auxiliare acestora.

Alte erori se produc ca urmare a unor cauze subiective ce depind de condițiile de exploatare a mașinii-unelte și sculei așchietoare.

Dintre toate componentele erorii piesei prelucrate, doar erorile geometrice și cinematice ale mașinii-unelte nu pot fi modificate oricît și oricînd, ci numai atunci cînd se prevede recondiționarea; celelalte pot fi influențate (compensate) total sau parțial pe durata procesului de așchiere.

3. Componentele preciziei tehnologice a mașinii-unelte

În principal, precizia de prelucrare a piesei este determinată de „precizia de poziționare" relativă a elementului generator față de traiectoriile generatoare teoretice în orice moment al procesului de generare a suprafeței. Calitatea cu care se realizează această poziționare depinde de mai mulți factori legați de cele patru elemente ale sistemului tehnologic MUSDP (mașină — unealtă — sculă — dispozitiv — piesă), în interdependență cu condițiile proceselor de generare a suprafețelor și așchiere, precum și ale celor de reglare și exploatare a mașinii-unelte. Din acești factori de natură obiectivă și subiectivă, mașina-unealtă se regăsește în precizia de prelucrare a piesei prelucrate prin *precizia tehnologică*. Aceasta reprezintă o caracteristică complexă, generală, dependentă de mulți factori, cu ajutorul căreia se pot aprecia condițiile generării suprafețelor reale, calitatea mașinii-unelte de a genera suprafețele în limitele impuse de condițiile tehnice de generare, precum și de cele tehnico-economice.

Dependentă de particularitățile constructive și de starea calitativă a elementelor de structură, precizia tehnologică se apreciază, în principal, funcție de comportarea mașinii-unelte din punct de vedere geome-

Scanned with OKEN Scanner

tric, static, termic, cinematic și dinamic (fig. 10.3). Aprecierea preciziei tehnologice nu trebuie făcută prin verificarea preciziei piesei prelucrate deoarece asupra preciziei de prelucrare a acesteia intervin și alte cauze (fig. 10.2 și 10.3), cum ar fi cele legate de procesul de așchiere, poziția relativă inițială dintre sculă și semifabricat, amplasarea mașinii-unelte, distribuția de temperatură din hală etc.

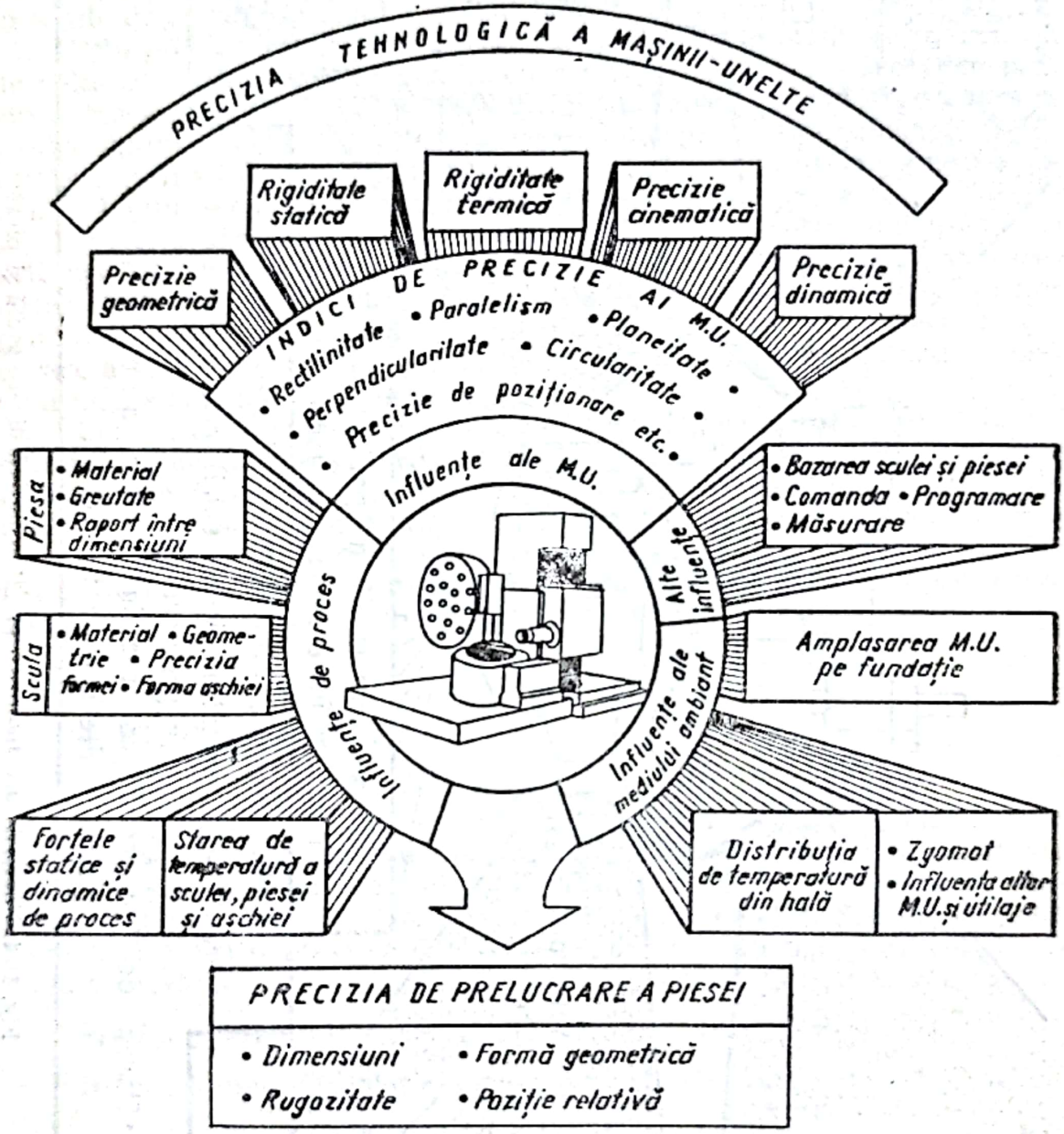


Fig. 10.3. Componentele preciziei tehnologice a mașinii-unelte.

Principalii factori care modifică poziția relativă dintre elementul generator (scula) și traiectoriile generatoare teoretice (piesa) sînt evidențiați în fig. 10.4.

Precizia geometrică a unei mașini-unelte este evaluată prin verificarea în stare neîncărcată a pozițiilor relative ale elementelor sale de structură. În acest fel se definește calitatea cu care se realizează traiectoriile generatoare plane (dreapta sau cercul) ale mișcărilor simple materializate prin cuplele cinematice inferioare — sanie-ghidaj și fus-lagăr.

Scanned with OKEN Scanner

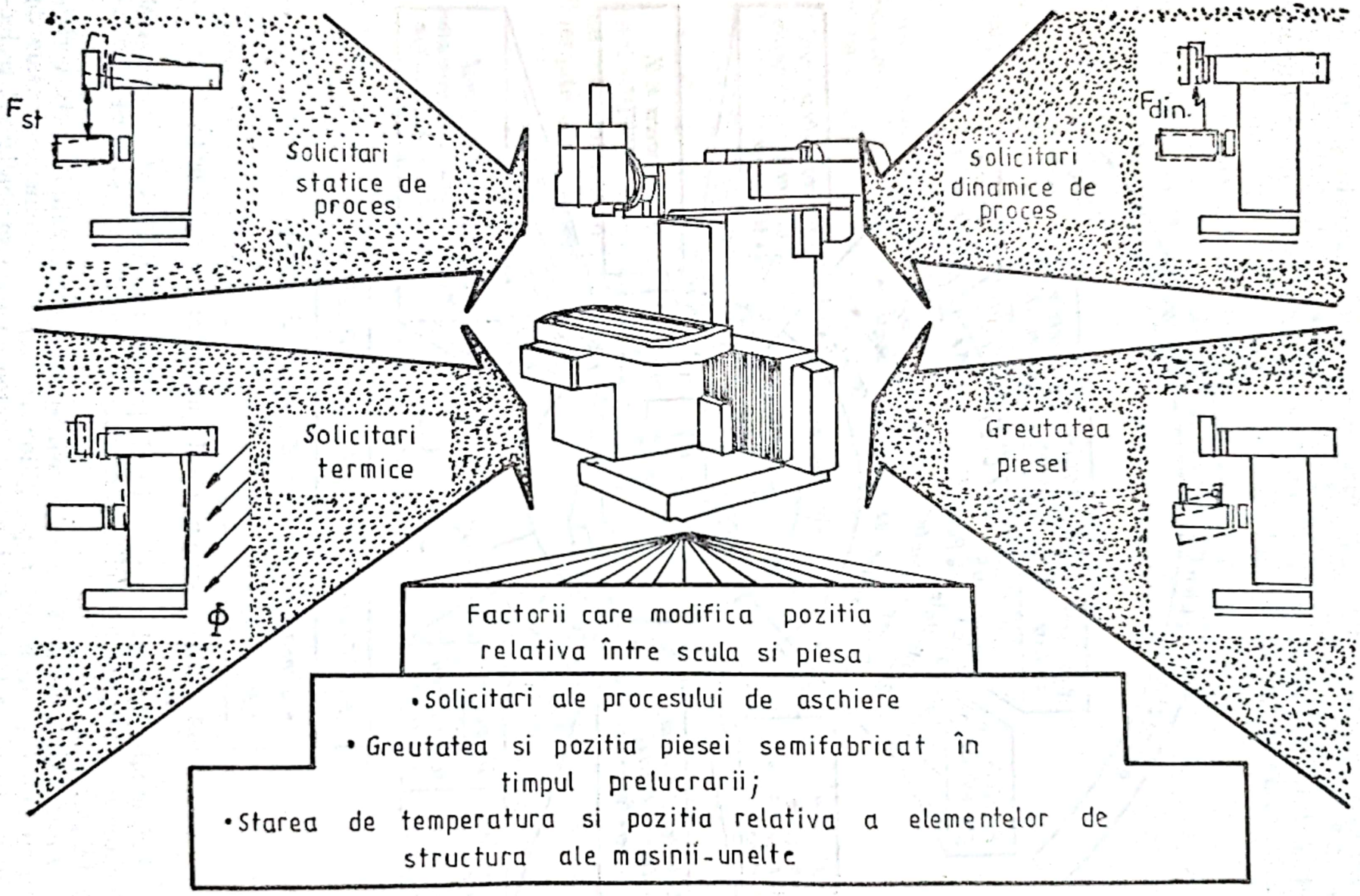


Fig. 10.4. Factorii care modifică poziția relativă dintre sculă și piesă.

Scanned with OKEN Scanner

Precizia statică (rigiditatea statică) a unei mașini-unelte reprezintă precizia sa geometrică sub acțiunea unor sarcini constante prin care se simulează forțele statice de proces.

Rigiditatea termică reprezintă un parametru cantitativ prin care se evaluează stabilitatea termică a mașinii-unelte (capacitatea acesteia de a-și menține, la solicitări termice generate în exploatare, parametrii geometrici, cinematici și tehnico-economici în limitele admisibile, pe durata unei zile de lucru) [5].

Prin *precizia cinematică* a unei mașini-unelte se stabilesc parametrii de calitate ai traiectoriilor generatoare reale față de cele teoretice prin evaluarea constanței vitezelor cu care se realizează traiectoriile amintite pentru lanțurile cinematice generatoare tehnologice sau a constanței legăturilor cinematice impuse de caracteristica de rigiditate cinematică — pentru lanțurile cinematice generatoare complexe [1, 4].

Precizia dinamică a unei mașini-unelte reprezintă calitatea ca, sub acțiunea vibrațiilor de orice natură, aceasta să-și păstreze stabilitatea (rezistența) la vibrații, precum și posibilitatea de realizare a traiectoriilor generatoare și directoare în limitele impuse de condițiile tehnice de generare a suprafețelor reale și a celor de productivitate și protecție a mașinii-unelte și a operatorului uman [1].

Complexitatea evaluării preciziei tehnologice a mașinii-unelte i-a determinat pe numeroșii cercetători să adopte diverse ipoteze simplificatoare care conduc în final la stabilirea unor indicatori ai erorii totale care se manifestă între elementul generator și traiectoriile generatoare teoretice. Așa se arată că, în prezent, nu există un criteriu ferm de estimare a unei erori globale a mașinii-unelte, ca sumă vectorială a erorilor componente specifice regimului static, dinamic și termic.

4. Rigiditatea statică

Noțiunea de rigiditate statică a unui organ de mașină, element de structură sau a unui grup de elemente de structură reprezintă capacitatea acestuia de a se opune acțiunii solicitărilor exterioare care tind să-l deformeze și se exprimă ca raport între mărimea efortului (forța $F_{st,i}$ sau momentul M_i) și deplasarea (liniară — δ_i sau unghiulară — φ_i) corespunzătoare acestuia.

$$k_i = F_{st,i}/\delta_i [\mathrm{N}/\mu\mathrm{m}]; \quad k_{\varphi i} = M_i/\varphi_i [\mathrm{N \cdot m/grad}]; \quad i = x, y, z \cdot (4\ a, b).$$

Inversul rigidității statice poartă numele de cedare statică (C_i, $C_{\varphi i}$):

$$C_i = 1/k_i; \quad C_{\varphi i} = 1/k_{\varphi i}. \qquad (5\ a, b)$$

Datorită complexității constructive a mașinilor-unelte, rigiditatea statică a acestora se determină prin metode experimentale specifice pentru fiecare tip de mașină-unealtă, în funcție de caracteristicile sale funcționale și constructive. O interpretare calitativă a fenomenelor existente o oferă caracteristica de rigiditate. Pentru un sistem tehnologic caracteristica sa fiind neliniară (fig. 10.5, *a*) se definește rigiditatea statică instantanee $k(r)$, unde r este vectorul de poziție al punctului considerat. În cercetările experimentale, pentru simplificarea calculelor, se operează cu rigiditatea medie k_m (fig. 10.5, *b*).

Scanned with OKEN Scanner

Rigiditatea totală a unui sistem tehnologic sau grup de elemente de structură în funcție de rigiditățile elementelor componente (fig. 10.6) se determină cu relația:

$$1/k_{tot}=\sum_{i}^{n}1/k_i \ (i=1,\ 2,\ \ldots,\ n) \qquad (6)$$

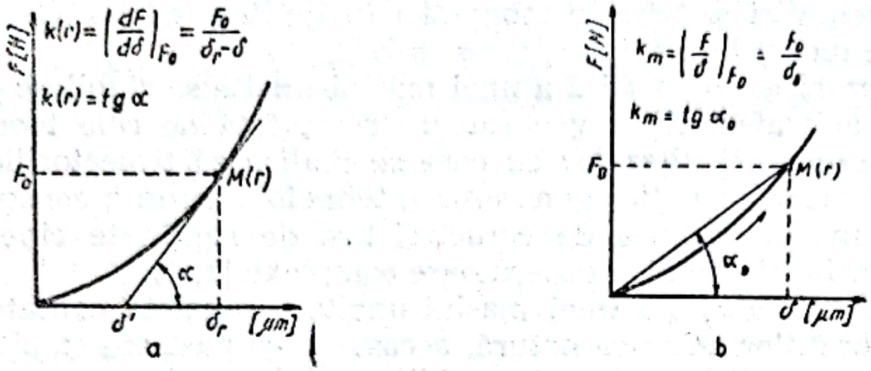


Fig. 10.5. Caracteristica de rigiditate statică.

Componentele forțelor de așchiere produc atît deplasări liniare cît și deplasări unghiulare ale poziției dintre elementul generator și cel generat. În consecință, sînt definite rigiditatea statică liniară (k_{ij}) și rigiditatea statică unghiulară $k_{i\varphi j}$. Deformațiile liniare producîndu-se atît de-a lungul direcției componentelor forțelor de așchiere cît și perpendicular pe aceste direcții sînt definite rigiditățile liniare directe (k_{xx}, k_{yy}, k_{zz}) și respectiv rigiditățile statice transversale k_{ij} și k_{ji} ($i, j=x, y, z$; i — direcția de acționare a forței; j — direcția de deplasare liniară).

Pentru sistemele elastice liniare se poate considera $k_{ij}=k_{ji}$. Comparativ cu rigiditățile liniare directe, rigiditățile liniare transversale au valori atît de mari, încît pot fi neglijate.

Rigiditățile statice unghiulare $k_{i\varphi j}$ ($i, j=x, y, z$; i — direcție de acționare a forței, φ_j — deplasare unghiulară în jurul axei j) pot fi și ele neglijate cînd valorile lor absolute sînt foarte mari sau în condițiile unor construcții simetrice ale structurii. Pentru o mașină-unealtă (în fig. 10.7 o mașină de frezat cu consolă) deformațiile liniare de-a lungul axelor de coordonate pot fi determinate simulînd solicitarea reală cu forțe statice de proces ($F_{st,\,i}$, $i=x, y, z$). Dintre rigiditățile unghiulare interesează numai cele care acționează normal față de planul frezei ($k_{x\varphi y}$, $k_{y\varphi x}$, $k_{z\varphi x}$

$$\begin{bmatrix} C_{xx} & C_{xy} & C_{xz} \\ C_{yx} & C_{yy} & C_{yz} \\ C_{zx} & C_{zy} & C_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} F_{st,x} \\ F_{st,y} \\ F_{st,z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \end{Bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} C_{x\varphi_x} & C_{y\varphi_x} & C_{z\varphi_x} \\ C_{x\varphi_y} & C_{y\varphi_y} & C_{z\varphi_y} \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} F_{st,x} \\ F_{st,y} \\ F_{st,z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varphi_x \\ \varphi_y \end{Bmatrix} \qquad (7a, b)$$

— fig. 10.7).

Dacă în plus se exclud rigiditățile ce pot fi neglijate din motive de simetrie sau datorită unor valori absolute foarte ridicate, relațiile (7) devin:

$$\begin{bmatrix} C_{xx} & 0 & 0 \\ 0 & C_{yy} & 0 \\ 0 & 0 & C_{zz} \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} F_{st,x} \\ F_{st,y} \\ F_{st,z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \delta_x \\ \delta_y \\ \delta_z \end{Bmatrix}; \quad \begin{bmatrix} 0 & C_{y\varphi_x} & C_{z\varphi_x} \\ C_{x\varphi_y} & 0 & 0 \end{bmatrix} \cdot \begin{Bmatrix} F_{st,x} \\ F_{st,y} \\ F_{st,z} \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \varphi_x \\ \varphi_y \end{Bmatrix} \qquad (8a, b)$$

Scanned with OKEN Scanner

Elemente de structură	Rigiditate statică [N/μm]		Pondere %
SPS ghidaje	k_1	133	10,8
Lagăre AP	k_2	433	3,1
Disc abraziv	k_3	375	3,3
Piesă	k_4	400	3,3
PP-V-D-V-PM	k_5	26,5	50,3
Masă ghidaje	k_6	44	29,2
Maşină-unealtă	$k_{tot.}$	13	100

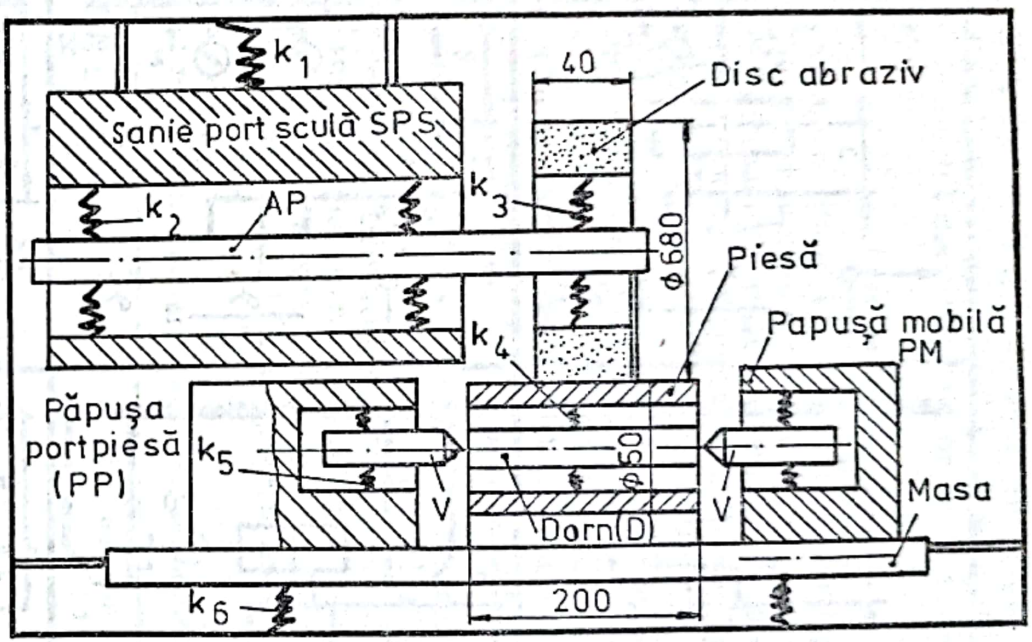


Fig. 10.6. Ponderea rigidităţii statice a elementelor de structură asupra rigidităţii statice totale la o maşină de rectificat rotund exterior.

Scanned with OKEN Scanner

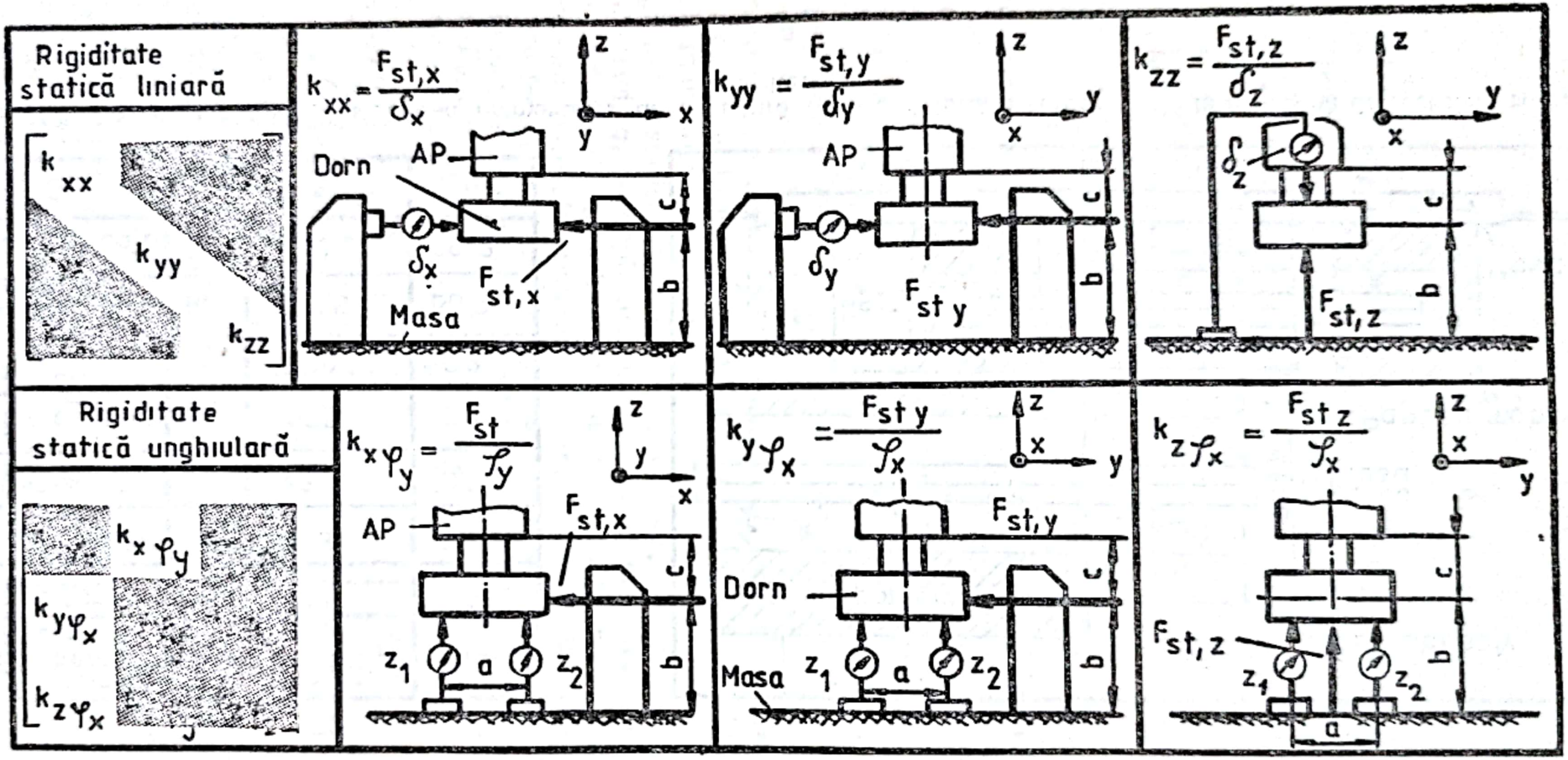


Fig. 10.7. Scheme de determinare experimentală a rigidităților statice liniare și unghiulare pentru o mașină de frezat cu consolă.

Scanned with OKEN Scanner

Raportînd rigiditatea statică la puterea motorului electric de acționare a lanțului cinematic principal se definește rigiditatea statică relativă [2], un indicator eficient de evaluare a preciziei statice pentru mașini-unelte de același tip.

$$k_{rel}=k_{ij}/\ P \quad [N/\mu]W/, \tag{9}$$

Valori ale acesteia obținute la verificarea unui lot de 50 de strunguri paralele și carusel sînt prezentate în fig. 10.8 [2].

Stabilirea unei metodologii general valabile pentru verificarea rigidității statice a tuturor tipurilor de mașini-unelte este practic imposibilă, datorită particularităților constructive și condițiilor de prelucrare specifice fiecărei mașini-unelte. De aceea pe baza unor studii și experimentări complexe anumite institute de cercetare sau laboratoare de mașini-unelte (ENIMS, WZL Aachen, VUOSO, IAMA-Institutul de MU din Belgrad etc.) au elaborat, în special metodologii optime de solicitare a strungurilor normale și mașinilor de frezat cu consolă, în scopul determinării rigidității statice.

După recomandările ENIMS, condițiile de încercare a mașinilor-unelte la rigiditate statică sînt cele indicate în tabelul 10.1. Pe baza experiențelor efectuate de același institut se propune ca limita inferioară de rigiditate să fie proporțională cu rădăcina cubică a dimensiunii de bază pentru mașini-unelte de tipul strungurilor și proporțională cu rădăcina cubică a pătratului dimensiunii de bază pentru mașini de frezat și rectificat.

Tabelul 10.1 **Condiții de încercare a MU la rigiditate statică**

Direcția forței statice simulate	Coordonatele punctului de aplicație al forței
● Corespondența cît mai mare cu forța de așchiere; ● Corespondența poziției dintre sculă și piesă (schema de încărcare rezultînd spațială, plană sau după o componentă)	în funcție de: ● Caracteristicile tehnice de bază ale *MU;* ● Condițiile specifice de exploatare ale *MU;* ● Posibilitatea amplasării mijloacelor de măsurare a deplasărilor; ● Realizarea deplasării uniforme a ES

Mărimea forței statice în funcție de:	Condiții de fixare ale ES	Nr. indicilor de rigiditate
● Caracteristicile tehnice ale *MU;* ● Condițiile de exploatare ale *MU;* ● Valorile deplasărilor măsurabile cu mijloace de măsurare	● Blocarea sau deblocarea în raport de rolul funcțional; ● Preluarea jocurilor; ● Ordinea de măsurare a deplasărilor	● Ponderea rigidității asupra preciziei și productivității; ● Complexitatea și dificultatea încercărilor

În laboratorul WZL din Aachen [2, 3] au fost cercetate din punct de vedere static și dinamic, strunguri, mașini de frezat, centre de prelucrare și mașini de rectificat de construcție similară. Rezultatele referitoare la rigiditățile statice liniare și unghiulare ale mașinilor de frezat cu consolă sînt prezentate în fig. 10.9. Forța statică de proces *F*, în do-

Scanned with OKEN Scanner

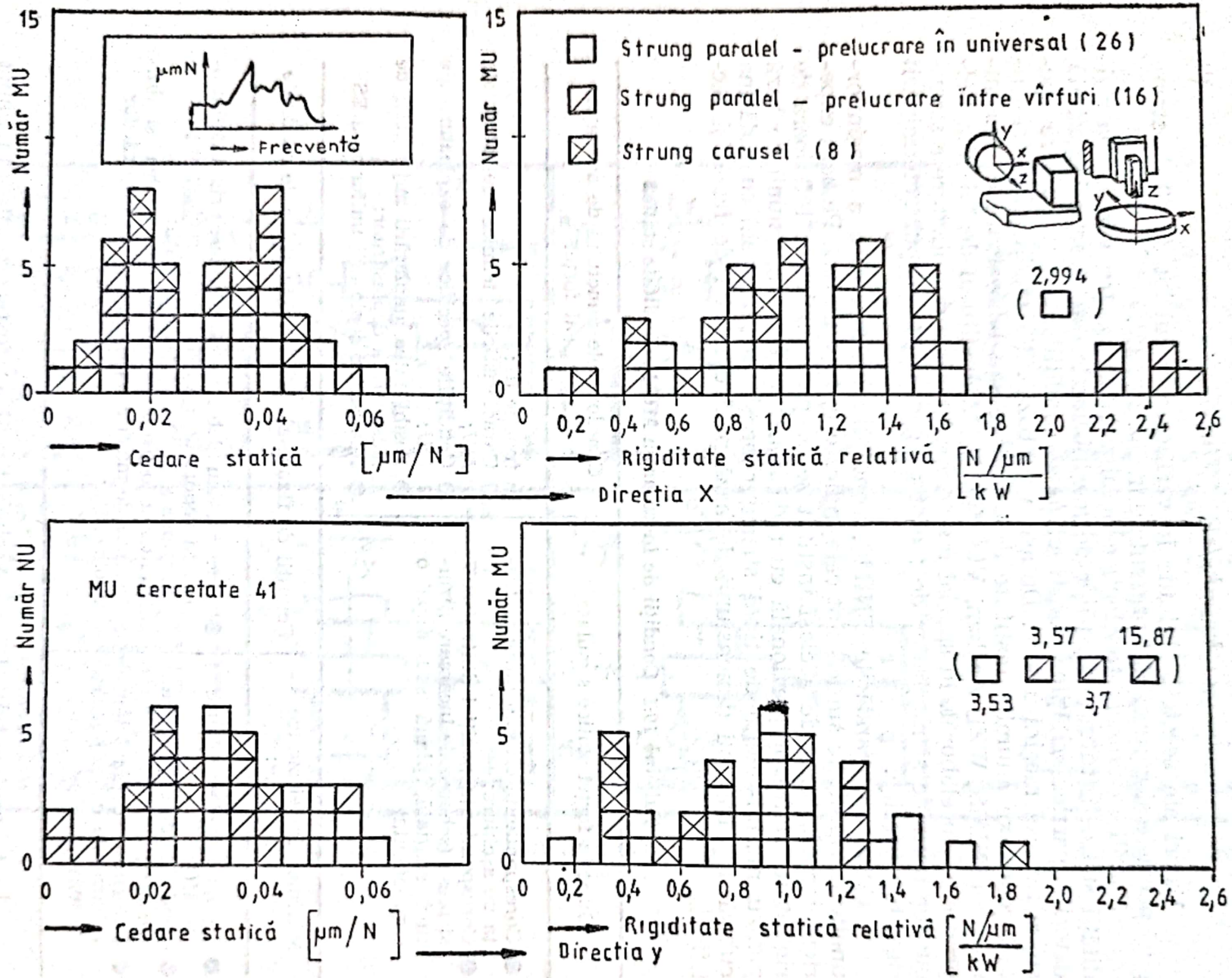


Fig. 10.8. Cedarea statică și rigiditatea statică relativă de-a lungul axelor x și y determinate pe un lot de strunguri.

Scanned with OKEN Scanner

meniul 0 . . . 10 kN, a fost simulată, prin acțiunea unui motor hidraulic liniar. Se constată că în prezența unei forțe statice de valori mai reduse, caracteristica de rigiditate indică o comportare puternic neliniară; explicată prin modificarea factorilor termofizici din îmbinări, precum și prin tipul forței statice, tracțiune sau compresiune. Există în primul caz condiții mai favorabile de sprijin al capului de frezat.

În urma cercetărilor efectuate în același laborator, se indică în tabelul 10.2, valorile medii ale rigidității liniare directe pentru diferite tipuri de mașini-unelte [3].

Tabelul 10.2. **Valori ale rigidității statice liniare directe pentru diferite tipuri de mașini-unelte**

Tipul mașinii-unelte	Nr. *MU* verificate de-a lungul axelor			Rigidități statice liniare directe, N/um		
	X	Y	Z	k_{xx}	k_{yy}	k_{zz}
Mașini de frezat cu consolă:						
— arborele principal vertical	27	25	26	17,86	25	50,25
— arborele principal orizontal	4	4	4	16,39	23,73	23,26
Strunguri paralele:						
— prinderea piesei între vîrfuri	16	10	7	37,04	33,33	40
— prinderea piesei în universal	27	21	22	30,77	27,78	62,5
Centre de prelucrare	11	10	10	25,64	33,33	45,43

Proiectantul de mașini-unelte este interesat să cunoască „punctele slabe" ale acesteia din punct de vedere static, pentru a lua măsuri de îmbunătățire a preciziei tehnologice. În acest scop, cercetările recente [3] propun o metodă rapidă de analiză a deformațiilor statice globale ale mașinii-unelte, precum și ale elementelor sale de structură, metodă similară analizei modale.

În fig. 10.10 sînt prezentate rezultatele acestei metode obținute în cazul experimentărilor efectuate pe o mașină de frezat cu consolă. Sarcina statică de proces a fost simulată, în direcția axei z (fig. 10.10, *a*) printr-o forță constantă, stohastică sau sinusoidală de joasă frecvență (sub prima frecvență proprie a sistemului dinamic). Analizînd deplasările elementelor de structură, se constată că „punctele slabe" ale structurii sînt constituite de sania capului de frezat și îmbinările dintre montant și sania capului de frezat, respectiv între capul de frezat și sania acestuia.

Schema-bloc a unei instalații cu ajutorul căreia se măsoară deformațiile proprii ale elementelor de structură precum și deformațiile de contact din îmbinări este reprezentată în fig. 10.11, *a*. Cu ajutorul unui excitator comandat de un generator de impulsuri se introduce în sistem o forță sinusoidală de joasă frecvență cu punctul de aplicație la contactul dintre sculă și piesa-semifabricat. Răspunsul (deformații proprii și deformații de contact) sistemului în punctele caracteristice ale structurii este redat cu ajutorul unor dispozitive de măsurare absolută. Forța cu care se solicită sistemul, precum și răspunsul acestuia (fig. 10.11, *c*) sînt dirijate simultan spre un analizator cu ajutorul căruia se determină dependențele amplitudine-frecvență, amplitudine-forță (fig. 10.11, *b*).

Obținîndu-se poziția deformată a întregii structuri, se pot alege plane de referință proprii fiecărui element de structură, astfel încît de-

Scanned with OKEN Scanner

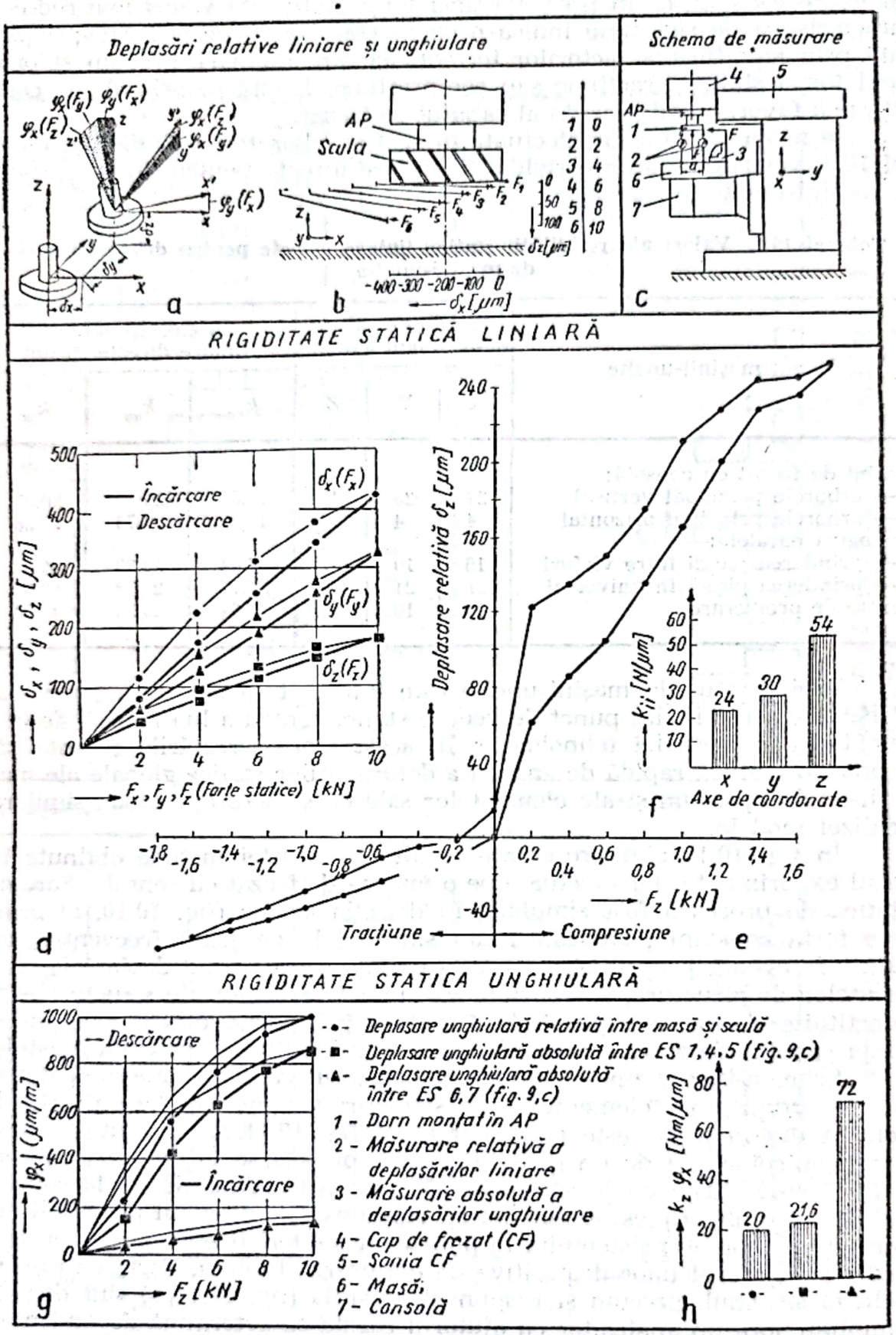


Fig. 10.9. Caracteristicile de rigiditate statică ale unei mașini de frezat cu consolă.

Scanned with OKEN Scanner

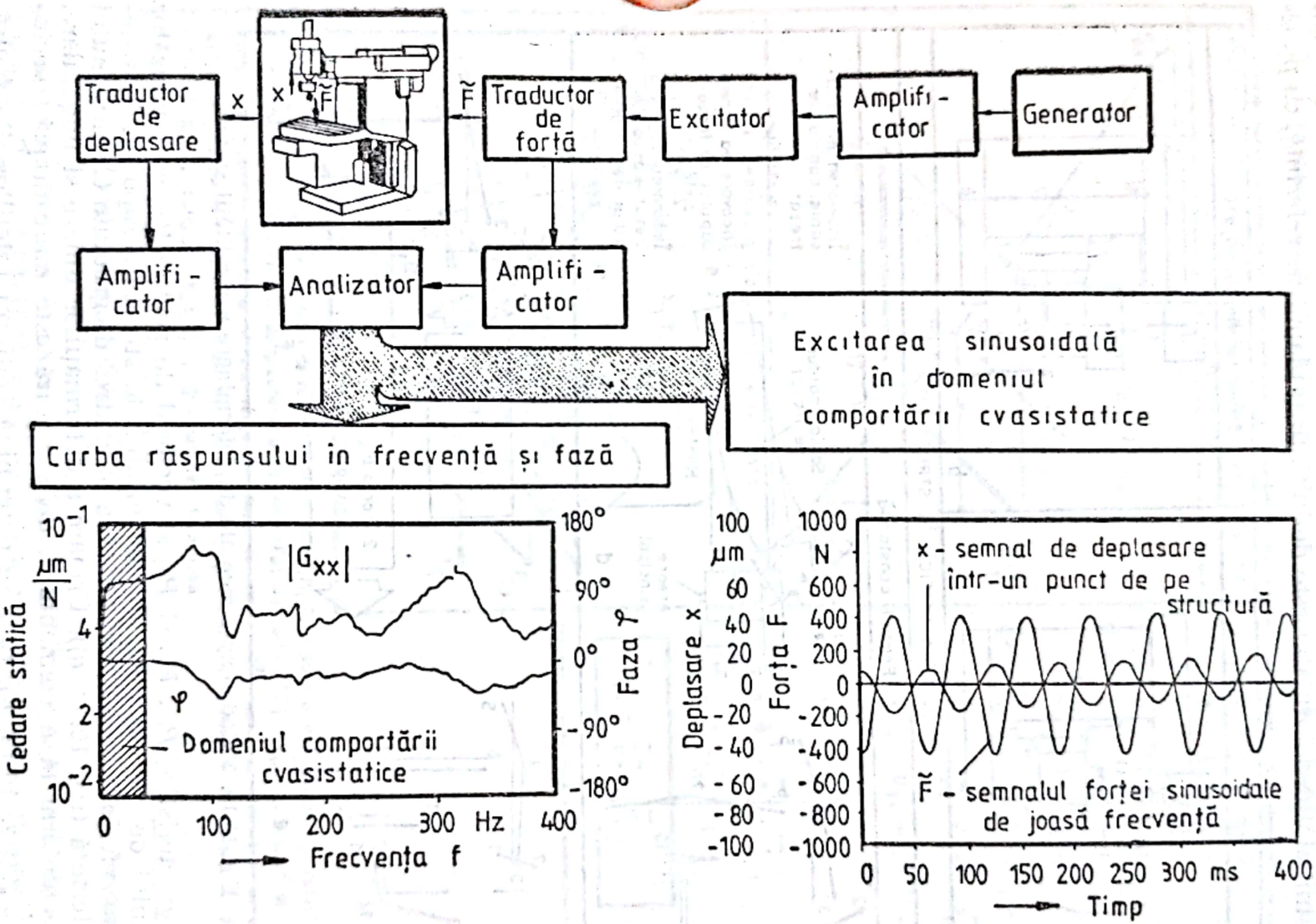


Fig. 10.11. Schema bloc de determinare a rigidității statice.

Scanned with OKEN Scanner

plasarea totală, determinată în punctul de contact dintre sculă și piesa-semifabricat, se distribuie fiecărui element de structură precum și îmbinărilor structurii. Principiul teoretic care stă la baza acestei metode este prezentat în fig. 10.12 [6]. Pentru un element de structură oarecare poziția inițială (nedeformată) este definită prin planul de referință, cu punc-

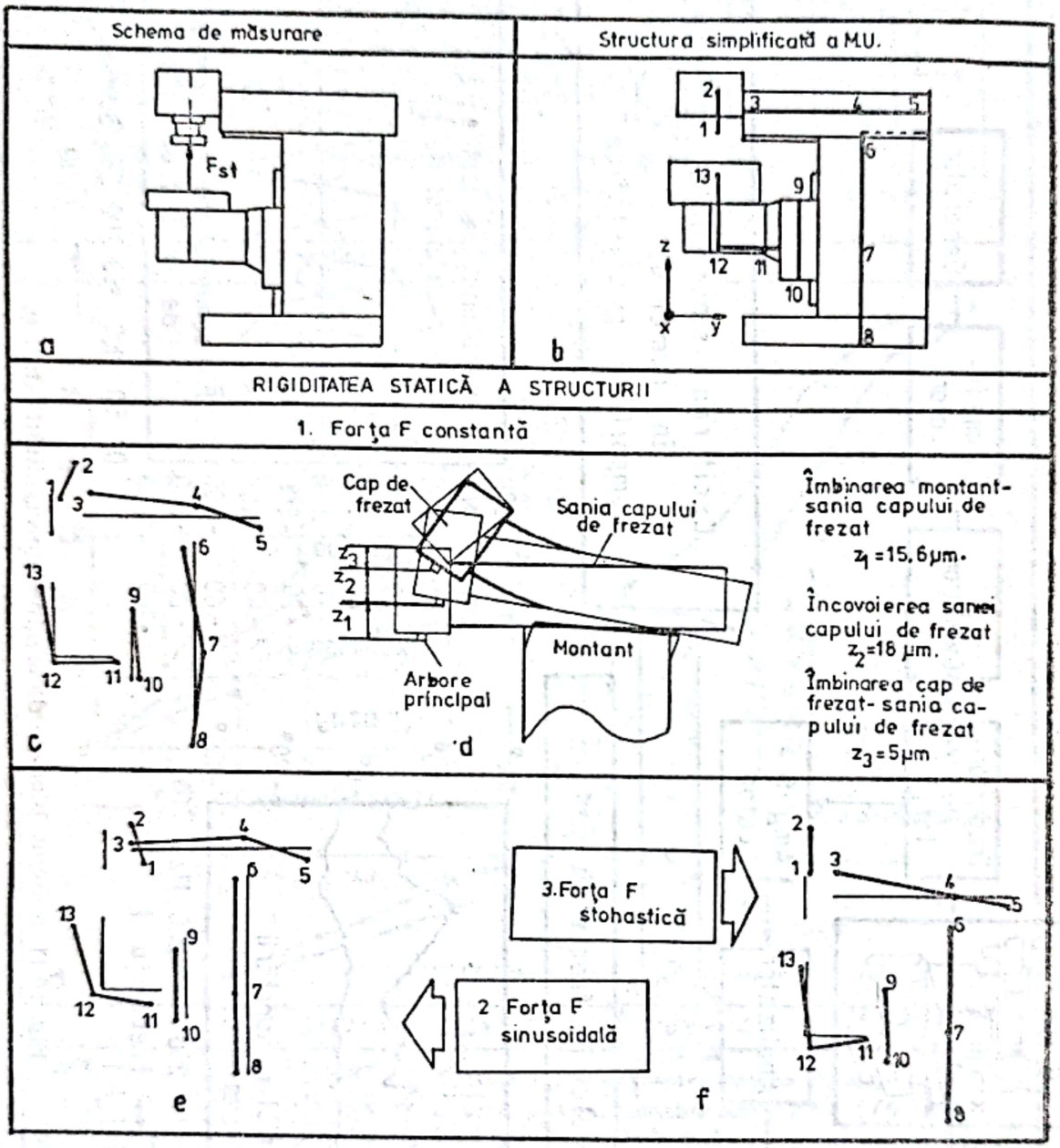


Fig. 10.10. Metode experimentale de determinare a rigidității statice.

tele caracteristice P_{01}, P_{02} și P_{03} și vectorul de poziție $\vec{P}_{Co}$ corespunzător punctului de referință P_{on} al elementului de structură raportat în sistemul de referință $X_0Y_0Z_0$ (cu originea în centrul de greutate G_0 al planului de referință (fig. 10.12, *a*)). Urmare a deformațiilor liniare și unghiulare, poziția deformată a elementului de structură este marcată prin vectorul $\vec{V}_{k,n}$ (fig. 10.12, *b*), care se determină conform relațiilor din figură.

În baza acestui principiu, în fig. 10.13 este reprezentat modul cum se distribuie cedarea statică totală a unui centru de prelucrare la solicitarea cu o forță statică pe direcția axei *Y*. În partea superioară a figurii sînt prezentate deformațiile structurii în spațiu și în planul *XoY*. Structura

Scanned with OKEN Scanner

mașinii-unelte a fost solicitată cu o forță sinusoidală $F=1\,000$ N, cu frecvența de excitație de 11 Hz.

Răspunsul structurii la solicitarea amintită a fost măsurat în 90 de puncte caracteristice. În punctul de aplicație al forței (contactul dintre sculă și piesa-semifabricat) s-au obținut următoarele valori pentru ce-

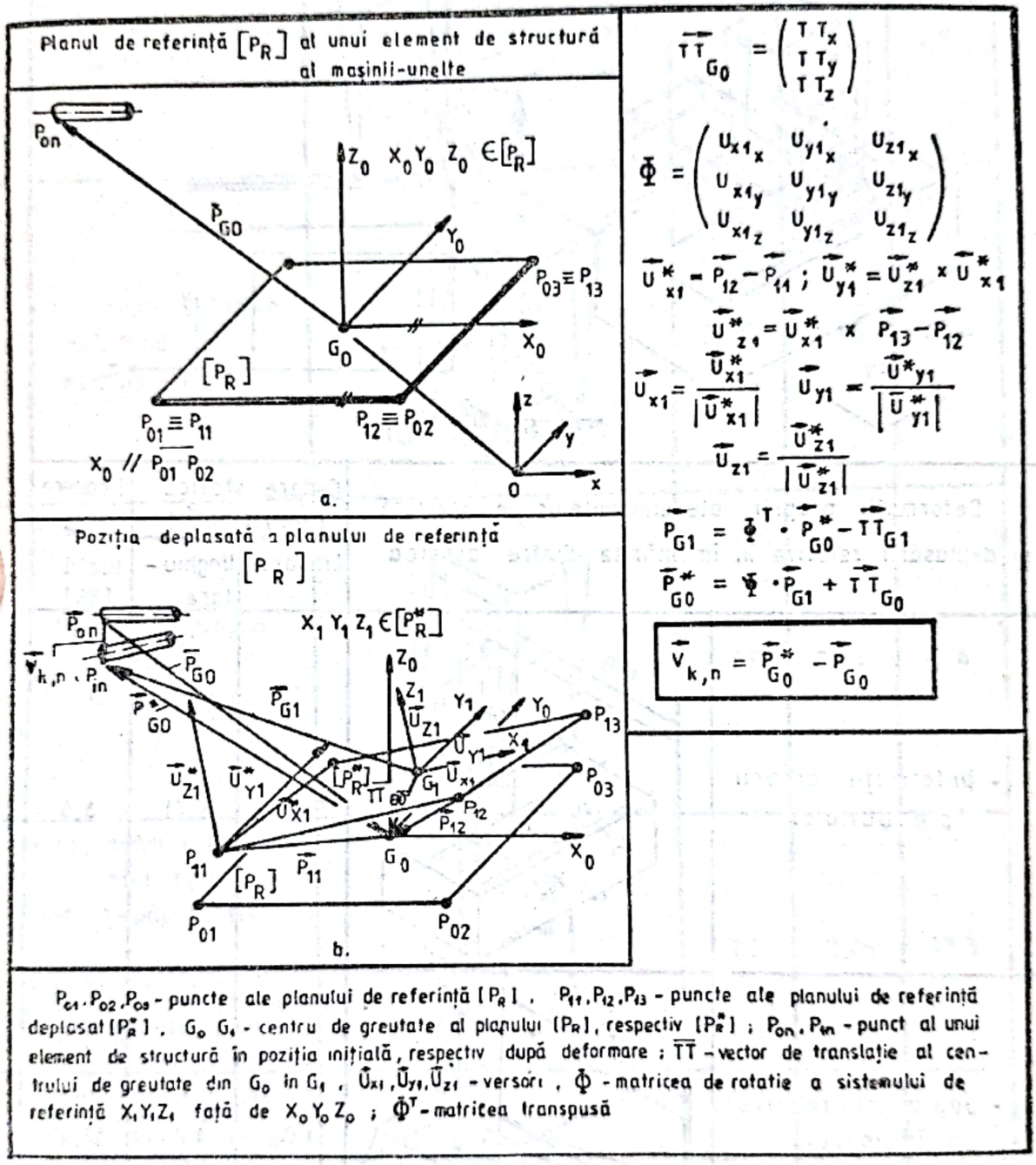


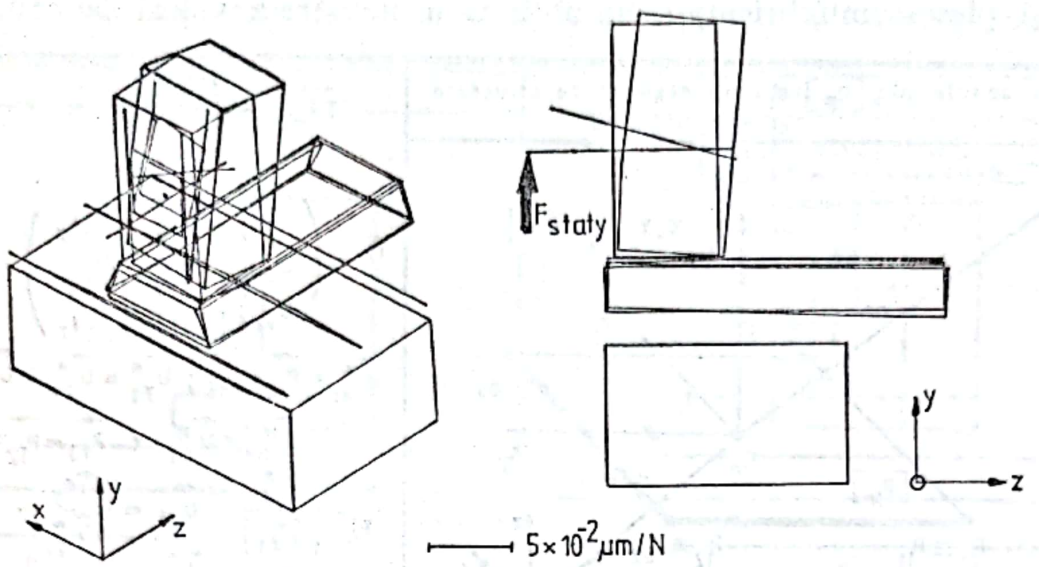
Fig. 10.12. Principiul determinării deformațiilor unui element de structură.

darea statică în direcția axei Y: $C_{yy,s}=2{,}42\cdot10^{-2}$ μm/N — cedarea statică a sculei; $C_{yy,p}=1{,}03\cdot10^{-2}$ μm/N — cedarea statică a piesei; $C_{yy}=3{,}45\cdot10^{-2}$ μm/N — cedare statică totală. Ponderea acesteia din urmă pentru elementele de structură este prezentată în fig. 10.13; distribuția cedării statice totale C_{yy} având la bază principiul expus în fig. 10.12. În acest scop s-a ales pentru fiecare element de structură un plan de referință de-

Scanned with OKEN Scanner

DISTRIBUTIA CEDARII STATICE TOTALE PE AXA Y

$G_{yy} = 2,39 \cdot 10^{-2}$ [$\mu m/N\ 10^{-2}$] 100%



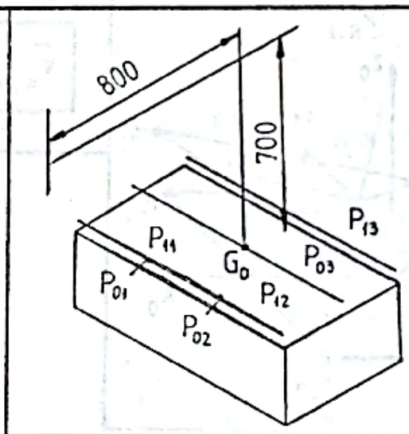
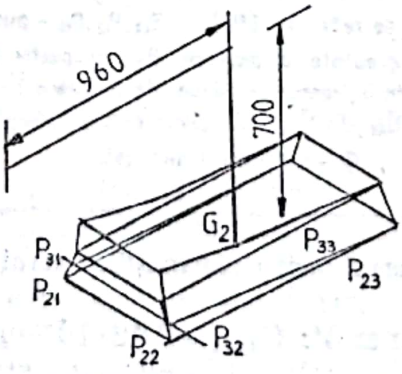
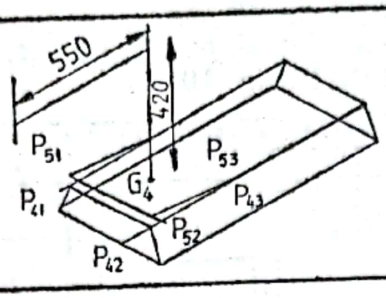
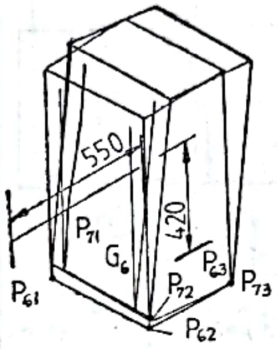
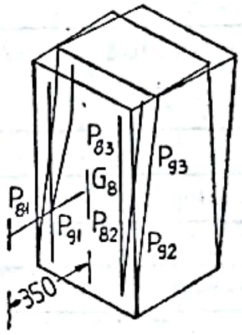
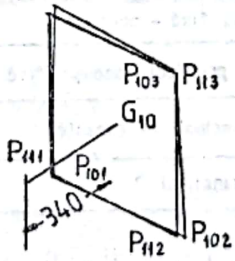
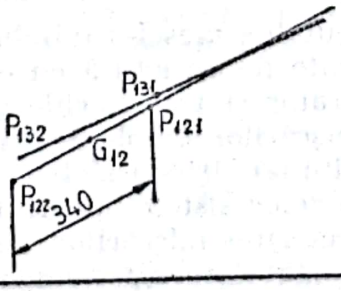
Deformații proprii ale elementelor de structură și deplasării relative în îmbinările dintre acestea		Cedare statica [$\mu m/N \cdot 10^{-3}$]		Pondere procentuală [%]
		Liniare	Unghiulare	
• Deformații proprii ale batiului		0,85	0,71	6,6
• Deplasări relative în îmbinarea masă - batiu		1,08	1,83	12,2

Fig. 10.13. Distribuția cedării statice totale a unui centru de prelucrare la solicitarea cu o forță statică pe direcția axei Y.

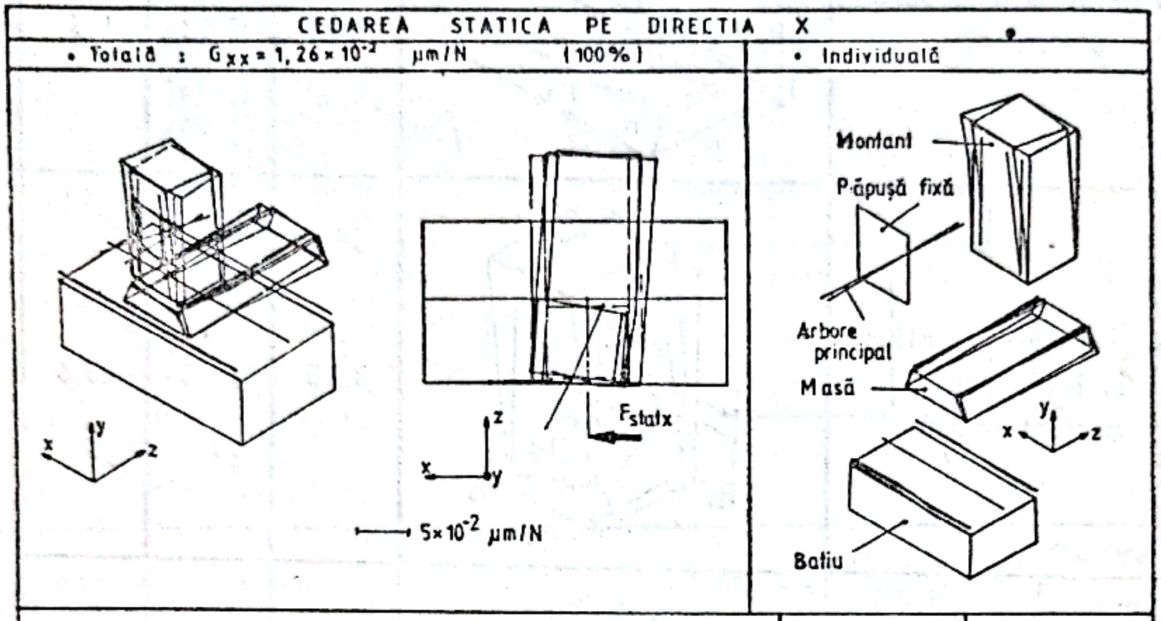
Scanned with OKEN Scanner

• Deformații proprii ale mesei		0,23	0,93	4,5
• Deplasări relative în îmbinarea montant - masă		3,45	3.65	25,6
• Deformații proprii ale montantului		0,69	1,83	10,6
• Deplasări relative în îmbinarea montant - păpușă fixă • Deformații proprii ale păpușii fixe		0,86	2,05	12,3
• Deplasări relative între păpușa fixă și arborele principal • Deformații proprii ale arborelui principal		4,38	2,35	28,2

Scanned with OKEN Scanner

finit de anumite puncte caracteristice: (P_{01}, P_{02}, P_{03}), (P_{11}, P_{12}, P_{13}), . . . , (P_{131}, P_{132}, P_{133}); poziţia punctului de contact dintre sculă şi piesă fiind dată de cotele l_y şi l_x. Devin în acest fel evidente elementele de structură cu rigiditate statică redusă.

În mod similar s-a procedat şi pe direcţia x, rezultatele distribuţiei cedării statice fiind prezentate în fig. 10.14.



Deformaţii proprii ale elementelor de structură şi deplasări relative în îmbinările dintre acestea	Cedare statică μm/N · 10^{-3}	Pondere procentuală [%]
• Deformaţii proprii ale batiului	0,316	2,50
• Deplasări relative în îmbinarea masă – batiu	0,588	4,70
• Deformaţii proprii ale mesei	0,929	7,37
• Deplasări relative în îmbinarea montant – masă	1,036	8,22
• Deformaţii proprii ale montantului	0,355	2,82
• Deplasări relative în îmbinarea papuşă fixă – montant	1,18	9,40
• Deplasări relative în îmbinarea arbore principal – papuşă fixă	1,29	10,24
• Deformaţii ale capătului arborelui principal în consolă	4,95	39,28
• Deformaţii proprii ale arborelui principal	1,95	15,47

Fig. 10.14. Distribuţia cedării statice pe direcţia axei X.

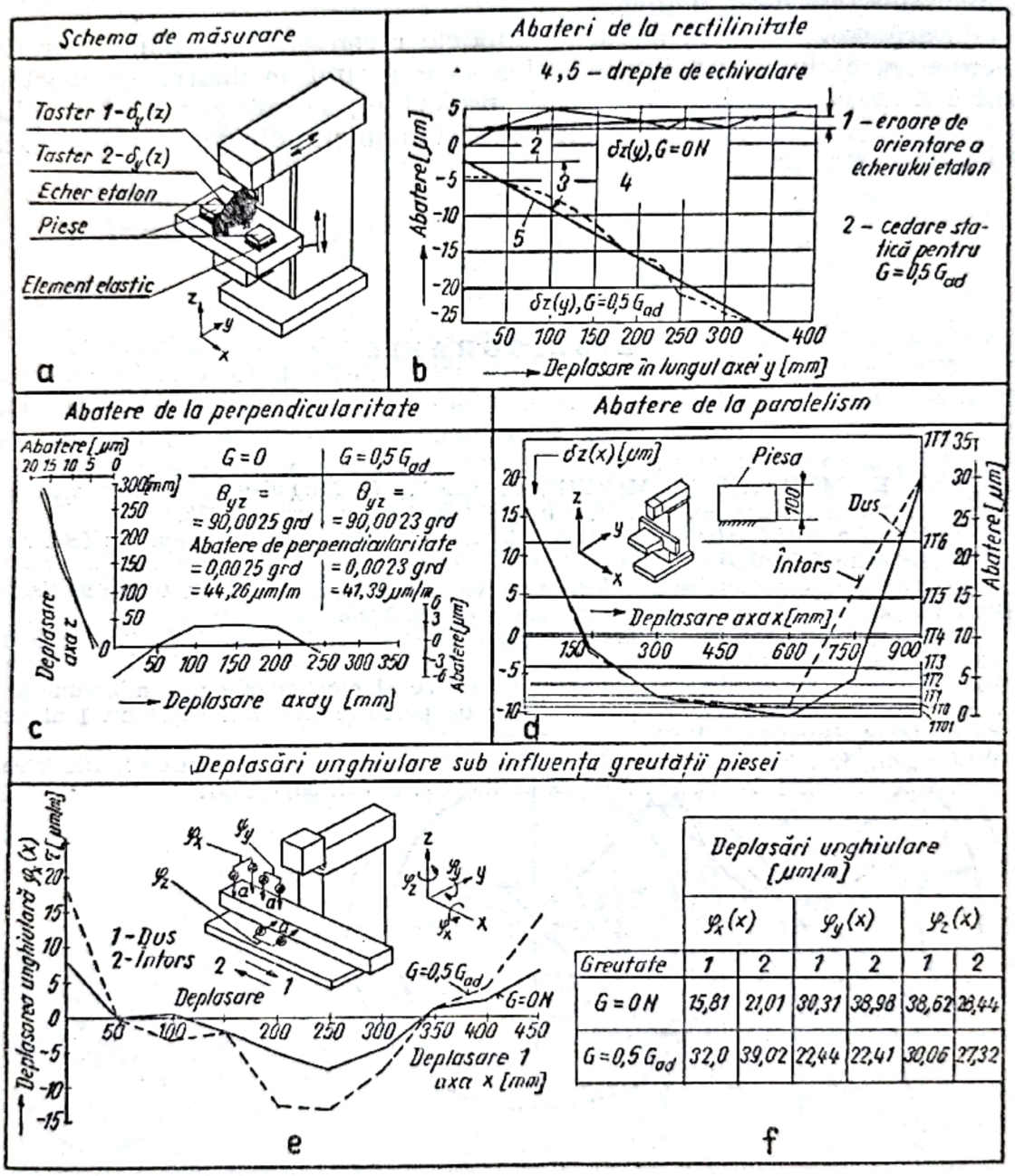
Ca sarcină statică, greutatea piesei-semifabricat produce atît deformaţii locale ale unor elemente de structură cu efecte asupra poziţiei relative între elementul generator şi traiectoriile generatoare teoretice, cît şi abateri ale traiectoriilor mişcărilor simple de generare. Din această cauză se impune verificarea rectilinităţii şi paralelismului traiectoriilor mişcărilor realizate de-a lungul axelor sistemului de referinţă cinematic, perpendicularităţii dintre traiectoriile mişcărilor de translaţie, preciziei de poziţionare şi deplasărilor unghiulare ale elementelor de structură aflate în mişcare.

Pentru o maşină de frezat cu consolă, se prezintă în fig. 10.15 [3], influenţa greutăţii pieselor-semifabricat asupra preciziei formei traiecto-

Scanned with OKEN Scanner

riilor generatoare. Se constată că variația paralelismului între suprafața mesei și axa y este de circa 75 μm (masa se înclină spre față), iar abaterea de perpendicularitate în planul yz, deși are valori reduse, modifică paralelismul dintre planul mesei și planul de rotație al frezei. Aceste abateri diferă de la o mașină-unealtă la alta; pentru patru mașini de frezat similare înregistrîndu-se:

$$\delta\theta_{yz} = -23 \ldots 71\%.$$



Deplasări unghiulare [μm/m]						
	$\varphi_x(x)$		$\varphi_y(x)$		$\varphi_z(x)$	
Greutate	1	2	1	2	1	2
G = 0N	15,81	21,01	30,31	38,98	38,62	28,44
G = 0,5 Gad	32,0	39,02	22,44	22,41	30,06	27,32

Fig. 10.15. Influența greutății piesei-semifabricat asupra preciziei formei traiectoriilor generatoare.

Rezultatele deplasărilor unghiulare ale mesei la mișcarea în lungul axei X (fig. 10.15, *c*) relevă că, sub acțiunea greutăți piesei-semifabricat, deplasarea unghiulară $\varphi_x(x)$ se dublează, $\varphi_z(x)$ rămîne aproape constantă, iar $\varphi_y(x)$ se reduce cu 26 ... 42%.

Scanned with OKEN Scanner

Deşi se apreciază [1, 4] că rigiditatea statică nu poate da o imagine completă asupra comportării maşinii-unelte sub sarcină reală, deoarece din raţiuni constructive şi tehnologice, direcţiile forţelor cu care se solicită elementele de structură ale maşinii-unelte nu coincid cu cele pe care acţionează sarcinile reale, (variabile şi nu constante), evaluarea preciziei tehnologice a maşinii-unelte din punct de vedere al rigidităţii statice constituie totuşi unul din indicii de precizie care reflectă cel mai bine comportarea în regim static, atît a întregii maşini-unelte, cît şi a elementelor sale de structură.

Dacă se adaugă la acestea metodele recente de cercetare teoretică şi experimentală a rigidităţii statice care permit evaluarea comportării statice a maşinii-unelte din faza de proiectare, se obţine o dată în plus, necesitatea şi importanţa studiului maşinilor-unelte din punctul de vedere al preciziei statice.

BIBLIOGRAFIE

1. BOTEZ, E., MORARU, V., MINCIU, C., ISPAS, C. Maşini-unelte. Organologia şi precizia maşinilor-unelte. Vol. II. Editura Tehnică, Bucureşti, 1978.
2. Colectiv de autori. Arbeitsgenauigkeit in der Maschine beherrschen. În: Ind. Anz. 106 (1984), nr. 56.
3. KERSTEN, A. Geometrisches Verhalten von Werkzengmaschinen unter statischer und thermischen Last. Dissertation TH Aachen, 1983.
4. MORARU, V. Teoria şi proiectarea maşinilor-unelte. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1985.
5. PREDINCEA, N. Studiul deformaţiilor termice şi elastice ale maşinilor-unelte şi a influenţei acestora asupra parametrilor de performanţă. Referatul nr. 1 al tezei de doctorat. Bucureşti, 1988.
6. WECK, M., ECKSTEIN, R. An Examination Technique to Determine Static Weakpoints of Machine Tools. În: Annals of the CIRP vol. 36/1/1987.

Scanned with OKEN Scanner

11.
Mecanisme cu cruce de Malta. Elemente de proiectare

Dr. ing. *Traian Aurite*
Ing. *Nicolae Predincea*
Dr. ing. *Adrian Ghionea*
Institutul Politehnic Bucureşti

1. Introducere

În structura lanţurilor cinematice auxiliare de poziţionare pe traiectorie circulară a unor ansambluri ale maşinilor-unelte: mese rotative, capete revolver, magazine de scule sau semifabricate, tamburi portarbori principali etc., cît şi în construcţia unor utilaje este utilizat, cu preponderenţă, mecanismul cu cruce de Malta, în dublu scop: pe de-o parte pentru asigurarea intermitenţei mişcării şi pe de altă parte pentru indexare. Acesta este întîlnit în mai multe variante constructive, folosirea cea mai frecventă avînd-o mecanismul cu cruce de Malta cu antrenare exterioară (fig. 11.1 şi tabelul 11.1, constituit din manivela *1*, ca element conducător, care este rotit cu viteza unghiulară constantă „ω_m" şi crucea de Malta *2*, ca element condus — un disc prevăzut cu un număr „z_c" (tabelul 2)

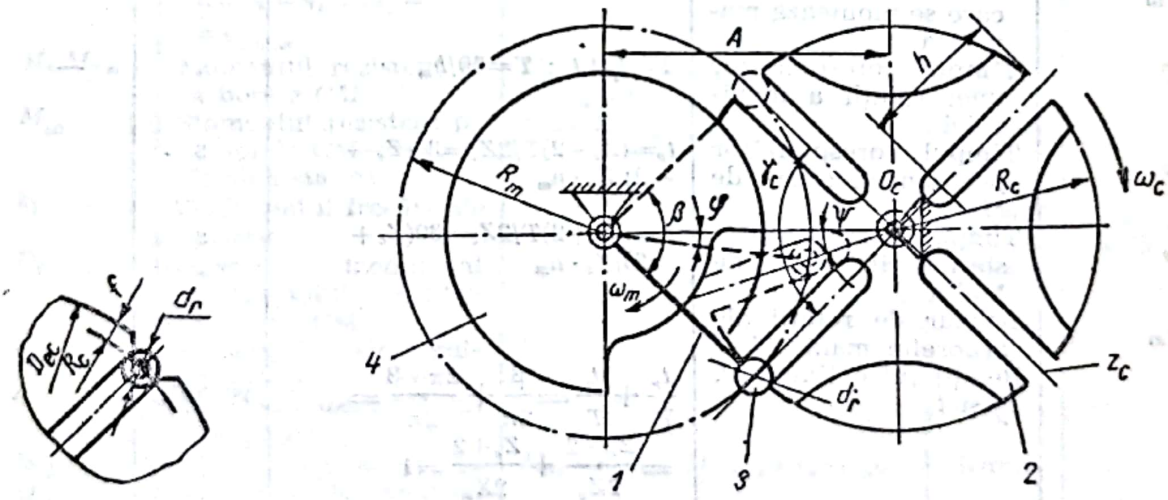


Fig. 11.1. Cruce de Malta cu antrenare exterioară.

de canale, care este rotit cu viteza unghiulară variabilă „ω_c". La fiecare rotaţie, continuă, a manivelei *1*, rola de antrenare *3* pătrunde într-unul dintre canalele discului *2*, rotindu-l periodic un unghiul „γ_c". După ieşirea rolei din canalul corespunzător, poziţia crucii de Malta şi, deci a elementului poziţionat, este menţinută de sectorul *4*, care intră într-una

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 11.1. **Calculul geometric, cinematic şi de rezistenţă ale mecanismului cruce de MALTA**

Simbol	Elementul de calculat	Relaţia de calcul	Unitate de măsură	Valori recomandate
1	2	3	4	5
R_c	Raza crucii de Malta (*CM*)	$R_c = A \cos(\beta/2)$	mm	
R_m	Raza manivelă M (antrenor)	$R_m = A \sin(\beta/2)$	mm	
Z_c	Număr de canale ale crucii de Malta		—	3 ... 12
A	Distanţa dintre axele CM şi M	$A = R_c/\cos(\pi/Z_c)$	mm	
γ_c	Unghiul de rotire a crucii de Malta	$\gamma_c = 360°/Z$ [°]; $\gamma_c = 2\pi/Z_c$ [rad]; $\gamma_r + \beta = 180°$		
$\beta°$	Unghi de rotire a manivelei	$\beta = 180° - \gamma_c = 180°(Z_c - 2)/z_c$ °]; $\beta = \pi(Z_c - 2)/Z_c$ [rad]		
d_r	Diametrul rolei de antrenare	$d_r = R_m/(3...4)$	mm	
h_c	Lungimea canalului CM-calculată	$h_c = R_m + R_c - A + \frac{d_r}{2} =$ $= A\left(\sin\frac{\gamma_c}{2} + \cos\frac{\gamma_c}{2} - 1\right) + \frac{d_r}{2}$	mm	
h	Lungimea canalului CM-adoptată	$h = h_c + (2...3)$	mm	
D_{ec}	Diametrul exterior al CM	$l = [R_c^2 + (d_r/2)^2]^{1/2} + f$	mm	
f	Teşitură	—	mm	1,5 ... 3
d_c	Diametrul arborelui pe care se montează CM	$d_c < 2[A - R_m - d_r/2]$	mm	
d_m	Diametrul arborelui pe care se montează manivela	$d_m < 2(A - R_c)$	mm	
T	Timpul corespunzător unei rotaţii a manivelei	$T = t_p + t_s$; $T = 60/h_m$	s	—
t_p	Timpul corespunzător poziţionării crucii de Malta	$t_p = (Z_c - 2)T/2Z_c = 30(Z_c - 2)/Z_c \cdot n_m$	s	
t_s	Timpul corespunzător staţionării crucii de Malta	$t_s = (Z_c + 2)T/2Z_c = 30(Z_c + 2)/Z_c \cdot n_m$	s	
n_m	Număr de rotaţii ale arborelui manivelă			
	Relaţii între timpii T, t_p şi t_s	$\frac{t_p}{T} + \frac{t_s}{T} = \frac{\beta}{2\pi} + \frac{2\pi - \beta}{2\pi} =$ $= \frac{Z_c - 2}{2Z_c} + \frac{Z_c + 2}{2Z_c} = 1$	rot/min	
K_f	Coeficientul de funcţionare al mecanismului	$K_f = t_p/t_s = (Z_c - 2)/(Z_c + 2)$	—	
n_c	Număr de rotaţii ale arborelui crucii de Malta	$n_c = [(Z_c + 2)/Z_c] \cdot 30/t_s$	rot/min	
λ	Raport	$\lambda = R_m/A = \sin(\gamma_c/2) =$ $= \sin(180°/Z_c)$	—	

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 11.1 (continuare)

1	2	3	4	5
ψ	Unghi de rotire instantanee a crucii de Malta	$tg\psi=\lambda \sin\varphi/(1-\lambda \cos \varphi)$	rad	
φ	Unghi de rotire instantanee a manivelei		rad	
ω_c	Viteza unghiulară a crucii de Malta	$\omega_c=\frac{d\psi}{d}=\frac{d}{dt}\left(\text{arc tg}\frac{\lambda \sin\varphi}{1-\lambda\cos\varphi}\right)=$ $=i_c\cdot\omega_m\neq ct$	rad/s	
ω_m	Viteza unghiulară a manivelei	$\omega_m=[(Z_c+2)Z_c]\pi/t_s=ct$	rad/s	
i_c	Raportul de transmitere al mecanismului *CM*	$i_c=\omega_c/\omega_m=\lambda(\cos\varphi-\lambda)/(1-$ $-2\lambda\cos\varphi+\lambda^2)$	—	
	la $\varphi=0$	$i_c=i_{cmax}=\frac{\lambda}{1-\lambda}=\frac{\sin(\gamma_c/2)}{1-\sin(\gamma_c/2)}$; $\omega_c=\omega_{cmax}=i_{cmax}\omega_m$		
ε_c	Accelerația unghiulară (Semnul plus ($\varepsilon>0$) corespunde primei jumătăți a rotirii CM, iar semnul minus celei de a doua jumătăți a rotirii	$\varepsilon_c=\frac{d\omega_c}{dt}=\pm$ $\pm\frac{\lambda(1-\lambda^2)\sin\varphi}{(1-2\lambda\cos\varphi+\lambda^2)^2}\cdot\omega_m^2=$ $=\pm k_\varepsilon\,\omega_m^2$	rad/s²	
ε_{ci}, ε_{cf}	Accelerația unghiulară a crucii de Malta în faza inițială, respectiv finală	$\varepsilon_{ci}=\varepsilon_{cf}=\pm(R_m/R_c)\omega_m^2=$ $=\pm\,tg\,(\pi/Z_c)\omega_m^2$ Pentru că $tg\,(\pi/Z_c)>0\Rightarrow\varepsilon_{ci}\neq0$; $\varepsilon_{cf}\neq0$	rad/s²	
φ_ε	Unghiul φ care produce o valoare maximă a ε_c, adică pentru $\varphi=\varphi_\varepsilon\Rightarrow\varepsilon_c=$ $=\varepsilon_{c\,max}$	Se determină din conditia $d\varepsilon_c/dt=$ $=0$ cos $\psi_\varepsilon=[-(1+\lambda^3)/4\lambda]+$ $+\{[(1+\lambda^2)^2/16\lambda]+2\}^{1/2}$		
$M_c, M_{c\,max}$	Momentul rezistent la arborele *CM*	$M_c=M_{sc}+M_{dc}$; $M_{cimax}=$ $=M_{sc}+M_{dcimax}$	daNmm	
M_{sc}	Momentul rezistent pe arborele CM, creat de forțele statice	$M_{sc}=k_1(D_0/d_w)G_t$	daNmm	
k_1	Coeficientul frecării de rulare	—	mm	0,01 ... 0,05
D_0	Diametrul mediu al rulmentului pentru arborele CM	—	mm	
d_w	Diametrul bilei rulmentului	—	mm	
G_t	Greutatea ansamblului poziționat	—	N	
M_{dc}; $M_{dc,\,max}$	Momentul rezistent la arborele CM, creat de forțele de inerție	$M_{dc}=I_c\cdot\varepsilon_c$; $M_{dcmax}=I_c\cdot\varepsilon_{cmax}$	Nmm	
I_c	Momentul de inerție al maselor antrenate în mișcare de rotație (redus la arborele CM)	$I_c\cong(G_t+/2g)r^2$	N·mm·s²	
g	Accelerația gravitațională	—	mm/s²	9810

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 11.1 (continuare)

1	2	3	4	5
r	Raza ansamblului poziţionat (cap revolver etc.)	—	mm	
M_m	Momentul rezistent la arborele manivelei	$M_m = M_s + M_d$; $M_{m,max} = M_{s,max} + M_{d,max}$	N·mm	
M_s $M_{s,max}$	Momentul rezistenţelor statice totale ale transmisiei, redus la arborele manivelei	$M_s = M_{sc} \cdot i_c/\eta_m$; $M_{s,max} = M_{sc} \cdot i_{c,max}/\eta_c$	N·mm	
M_d; $M_{d,max}$	Momentul rezistent maxim al forţelor de inerţie ale CM, redus la arborele manivelei	$M_d = I_c \cdot \omega_m^2 \cdot k_\varepsilon \cdot i_c/\eta_c$; $M_{d,max} = I_c \cdot \omega_m^2 \cdot k\varepsilon_{max} \cdot i_{cmax}/\eta_c$	N·mm	
$M_{m,max}$	Momentul rezistent maxim pentru antrenarea manivelei în faza de accelerare	$M_{m,max} \geq (M_{sc} \cdot i_{cmax} + I_c \cdot \omega_m^2 \cdot k_{\varepsilon max} \cdot i_{cmax})/\eta_c$	N·mm	
k_ε, $k_{\varepsilon,max}$	Raport	$K_\varepsilon = \varepsilon_c/\omega_m^2$; $k_{\varepsilon,max} = \varepsilon_{c,max}/\omega_m^2$	1/rad	
$M_{m,med}$	Momentul mediu necesar antrenării manivelei în faza de accelerare	$M_{m,med} = M_{d,med} + Z_c M_{sc}/(Z_c - 2)\eta_c$	N·mm	
$M_{d,med}$	Momentul mediu al forţelor de inerţie aplicat arborelui manivelei pentru a roti CM	$M_{d,med} = C_z \cdot I_c \cdot n_m^2/\eta_c$		
C_z	Constantă ce depinde de Z_c	$C_z = \frac{Z_c}{Z_c - 2} \cdot \frac{\pi}{900} \left(\frac{\lambda}{1-\lambda}\right)^2$	—	Tabelul 11.2
η_c	Randamentul mecanismului cruce de Malta — cu lagăre de alunecare, cu rulmenţi			0,8; 0,95; 0,98
η_m	Randamentul mecanismului de antrenare a manivelei			
P_{med}	Puterea medie necesară pentru acţionarea crucii de Malta în faza de accelerare (în funcţie de aceasta se alege motorul electric; pentru $Z_c > 8$ se alege un motor electric cu puterea majorată cu 10...20% faţă de P_{med} calculată	$P_{med} = M_{m,med} \cdot \omega_m/102\,000$	kW	
P_{max}	Puterea maximă necesară acţionării crucii de Malta în faza de accelerare (în funcţie de aceasta se face verificarea motorului electric la suprasarcini)	$P_{max} = M_{mmax} \cdot \omega_m/102\,000$; $\frac{P_{max}}{P_{med}} = 1{,}8...2{,}5$	kW	

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 11.1 (continuare)

1	2	3	4	5
$F_{r,\,max}$	Forţa maximă ce solicită rola de antrenare ($\varphi=0$)	$F_{r,max}=F_{s,max}+F_{d,max}=$ $=(M_{sc}+I_c\cdot\varepsilon_{c,max})\,(A-R_m)$	N	
$F_{s,\,max}$	Forţa maximă provocată de momentul M_{sc}	$F_{s,max}=M_{sc}/(A-R_m)$	N	
$F_{d,\,max}$	Forţa maximă provocată de momentul $M_{dc,\,max}$	$F_{d,max}=I_c\cdot\varepsilon_{c,max}/(A-R_m)$	N	
d_r	Verificarea rolei de antrenare la solicitarea de încovoiere	$d_r\geq[32\ M_i/\pi\sigma_{ai}]^{1/3}$	mm	
M_i	Momentul de încovoiere ce solicită arborele rolei	$M_i=F_{rmax}\cdot l$	Nmm	
l	Braţul forţei $F_{r\,max}$	se alege constructiv	mm	
σ_{ai}	Rezistenţa admisibilă la încovoiere	—	N/mm^2	
d_m	Verificarea arborelui manivelă la solicitarea de torsiune	$d_m\geq[16\ M_{m,max}/\pi\tau_{at}]^{1/3}$	mm	
d_c	Verificarea arborelui crucii de Malta la solicitarea de torsiune	$d_c\geq[16M_{c,max}/\pi\tau_{at}]^{1/3}$	mm	
τ_{at}	Rezistenţa admisibilă la torsiune	—	N/mm^2	
p	Presiune de contact între rolă şi canale	$p\geq0{,}418\ [2F_{r,max}\cdot E/(b_1\cdot d_r)]^{1/2}$	N/mm^2	
b_1	Grosimea crucii de Malta în zona canalelor	fig. 11.2	mm	
E	Modulul de elasticitate	fig. 11.2	N/mm^2	$2\cdot10^5$
d_a	Diametrul cercului purtător al rolelor R_a	$d_a=2\cdot r_a=2A\ \sin(\gamma_c/2)=$ $=2A\ \sin(180°/Z_c)=2A\lambda$	mm	
λ	Raport	$\lambda=\sin(180°/Z_c)$		
d_i	Diametrul interior care limitează canalele Z_c	$d_i\leq2A[1-\sin(\gamma_c/2)]-d_r$	mm	
d_r	Diametrul rolelor de antrenare	Se alege constructiv	mm	
D_{ec}	Diametrul exterior al crucii de Malta	$D_{ec}=2[A^2+3A^2\ \sin^2(\gamma_c/2)-$ $-2A\ \sin(\gamma_c2)\cdot d_r+d_r^2/4]^{1/2}$	mm	
r_c	Raza de racordare a flancurilor canalelor	$r_c=A\ \sin(\gamma_c/2)-d_r/2$	mm	
φ	Unghi instantaneu de rotire a roţii de antrenare RA		rad	
ω_m	Viteza unghiulară a roţii de antrenare	$\omega_m=\pi\cdot n_m/309$	rad/s	

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 11.1 (continuare)

1	2	3	4	5
n_m	Turația roții de antrenare		rot/min	
α_a	Unghiul cu care se rotește roata de antrenare față de poziția în care axa care unește rolele de antrenare este perpendiculară pe raza crucii de Malta, poziție considerată ca origine	Funcția $\omega_c = f(\alpha_a)$ este reprezentată în fig. 2, *b* Pentru $\omega_c = \omega_{c\,max}$, rezultă $\alpha_a = 90°$ Pentru intervalele $(0°, 360°/Z_c)$ și $(180° - 360°/Z_c, 180°)$, $\omega_c = 0$		

OBSERVAȚIE: Pentru mecanismul cruce de Malta cu două role de antrenare, elementele geometrice, puterea medie și puterea maximă se determină cu aceleași relații prezentate pentru crucea de Malta cu antrenare exterioară.

din adînciturile discului, rămînînd în această poziție pînă la momentul în care rola intră în canalul următor al discului 2.

La mecanismul cu cruce de Malta cu două role de antrenare (fig. 11.2, *a*, din tabelul 11.1) elementul conducător este o roată de antrenare cu diametrul nominal egal cu lățimea canalelor crucii de Malta; pe roata de antrenare sînt dispuse diametral două role de antrenare.

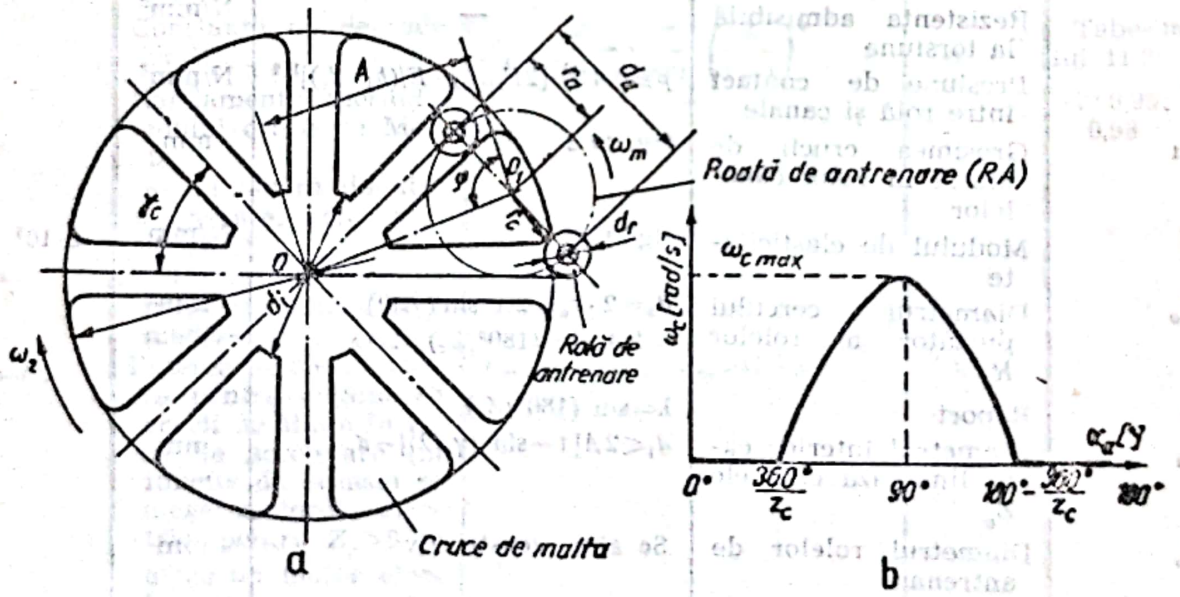


Fig. 11.2. Cruce de Malt cu două role de antrenare.

Tabelul 11.2. **Valorile constantei C_z, funcție de numărul canalelor Z_c**

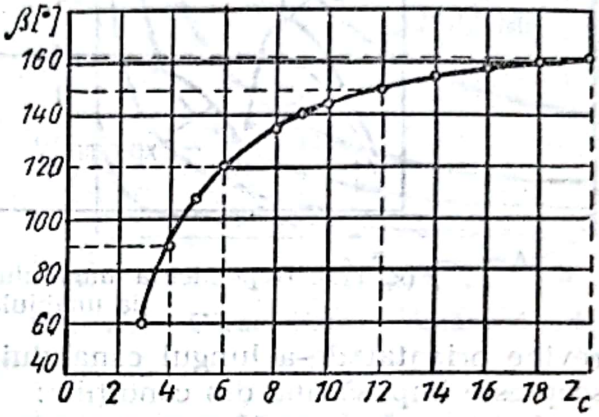
z_c	3	4	6	8	10	12
C_z	0,4375673	0,04069	0,0052359	0,0017885	0,0008726	0,0005107

Scanned with OKEN Scanner

2. Calculul geometric, cinematic şi de rezistenţa, recomandări de proiectare

Din prezentarea principalelor elemente de calcul geometric, cinematic şi de rezistenţă (tabelul 11.1) sînt de reţinut următoarele observaţii referitoare la mecanismul cu cruce de Malta cu antrenare exterioară:

— reducerea unghiului „β“ de rotire a manivelei are loc în condiţiile în care numărul de canale „Z_c“ descreşte (fig. 11.3);



11.3. Variaţia unghiului „β“ funcţie de numărul canalelor Z_c.

— prin creşterea numărului de canale „Z_c“ (Z_c=3 . . . 12) coeficientul de funcţionare „k_f“ tinde spre unitate, distanţa A dintre axe se micşorează (fig. 11.4). Pentru z_c=2, distanţa A devine infinită, fapt pentru care este impusă valoarea: $z_{c,\,min}$=3. Valoarea maximă a lui „z_c“ este limitată de creşterea razei „R_c“ faţă de „R_m“. Pe de altă parte, din expresiile acceleraţiei unghiulare (tabelul 11.1), în fazele de început şi de sfîrşit ale poziţionării rezultă că şocul este cu atît mai mare cu cît numărul de canale „z_c“ este mai redus. De aceea, pentru îmbunătăţirea funcţionării mecanismului şi a duratei acestuia este necesar un număr mai mare de canale;

— în momentele de început şi de sfîrşit, ale poziţionării are loc egalitatea φ=|β, viteza unghiulară „ω_c“ devenind nulă (fig. 11.5), fapt pentru care mişcarea mecanismului capătă un caracter neregulat, cu şoc. Din

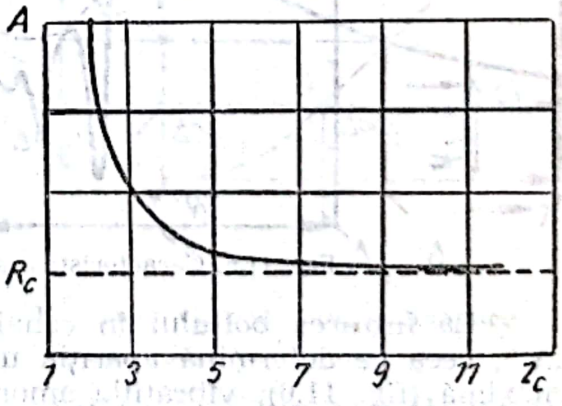


Fig. 11.4. Variaţia distanţei între axe funcţie de numărul canalelor z_c.

această cauză traiectoria axei boltului nu mai coincide cu axa de simetrie a canalului din zona periferică; între bolţ şi canal producîndu-se un impact, ceea ce determină, pentru un interval scurt de timp, o mişcare de sens invers cu cea de poziţionare a crucii de Malta. Acest mod de evoluţie a mişcării are loc cînd asupra elementului poziţionat acţionează un

Scanned with OKEN Scanner

moment de torsiune de sens contrar cu sensul mișcării de poziționare. Pentru situația inversă cazului enunțat are loc o mișcare neregulată care precede mișcarea de poziționare (fig. 11.5 partea din dreapta). Funcționarea mecanismului capătă condiții mai bune în fazele de început și de sfîrșit ale poziționării dacă vectorul vitezei tangențiale ce aparține rolei

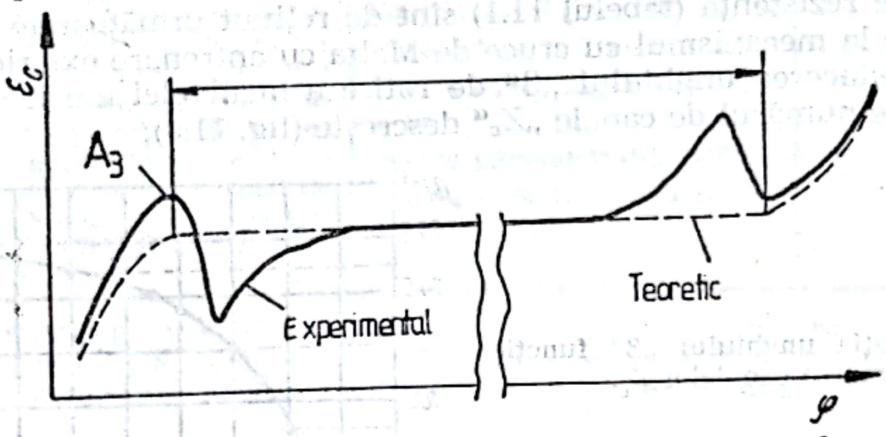


Fig. 11.5. Dependența unghiului de rotire „φ“ — accelerația unghiulară „ε_c“.

revine orientat de-a lungul canalului, adică în direcție radială. În acest scop este impusă una din condițiile:

$$\cos(\beta/2)-\lambda=0; \quad R_m=A\cos(\beta/2);$$
$$\lambda=R_m/A=\sin(\gamma_c/2)=\sin(\pi/Z_c).$$

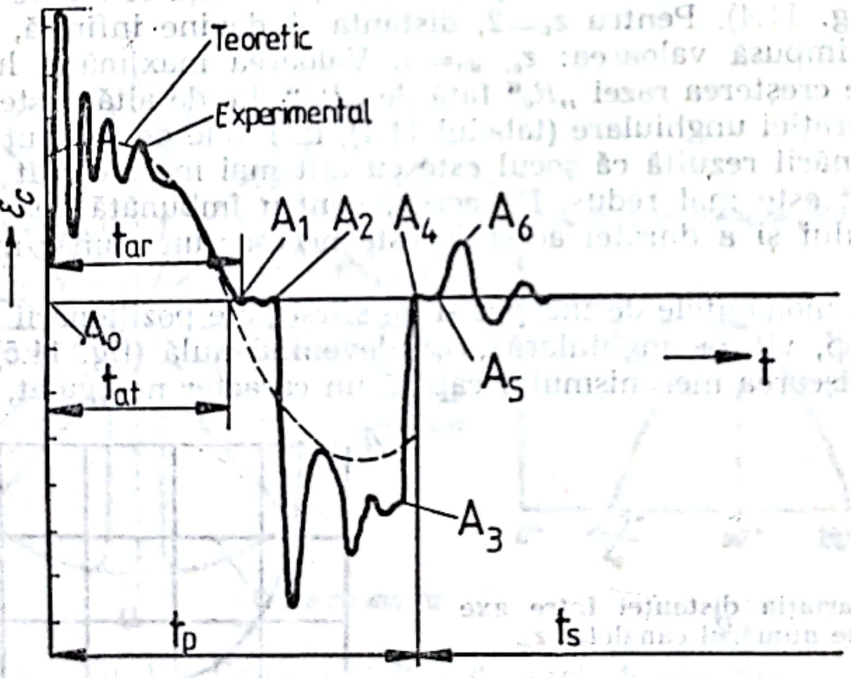


Fig. 11.6. Caracteristica accelerației unghiulare „ε_c“.

La intrarea bolțului în canal ($t=0$) apare un salt al accelerației „ε_c“, ceea ce determină apariția unei mișcări vibratorii de amplitudine maximă (fig. 11.6); vibrațiile amortizîndu-se ulterior ca urmare a neliniarității sistemului elastic, rigidității torsionale a sistemului și reducerii forței normale între rolă și flancurile canalului.

Caracterul neuniform al mișcării datorită reducerii vitezei unghiulare de acționare la accelerarea maselor în mișcare are ca urmare un timp de accelerație real „t_{ar}“ mai mare ca timpul de accelerație teoretic „t_{at}“

Scanned with OKEN Scanner

(fig. 11.6). Faza de decceleraţie începe în punctul A_2, iar în punctul A_3 începe mişcarea în sens invers care durează pînă în punctul A_4, cu eliberarea energiei acumulate în elementele elastice; timpul corespunzător punctului A_3 este mai mic decît cel real şi este explicat prin existenţa jocurilor din elementele mecanismului.

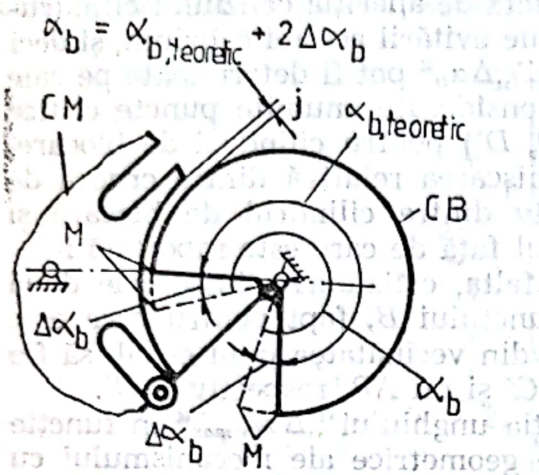


Fig. 11.7. Elementele geometrice impuse de blocare.

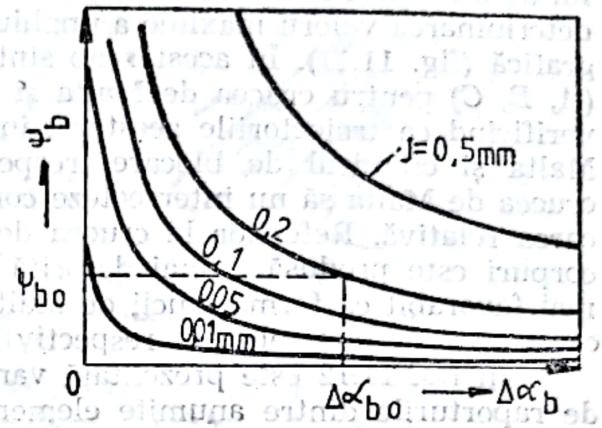


Fig. 11.8. Caracteristica dinamică „ψ_b" — „α_b".

Dinamica mişcării înapoi (cu şoc) a crucii de Malta în fazele de început şi de sfîrşit ale poziţionării este caracterizată de următorii parametri: amplitudine: $\psi_{cs}=\varepsilon_{A3}(t_{A4}-t_{A3})/4\pi^2$; frecvenţă: $f_{cs}=1/4(t_{A4}-t_{A3})$; viteză unghiulară: $\omega_{cs}=2\pi\psi_{cs}f_{cs}$ (specifică punctului A_4).

Parametrii dinamici ai acestei mişcări depind de jocul „j" dintre crucea de Malta CM şi cilindrul de blocare CB (fig. 11.7), precum şi de orientarea muchiilor M ale cilindrului de blocare (unghiulare „α_b" şi „$\Delta\alpha_b$"). Cu cît unghiul de blocare „α_b" este mai mare, adică cu cît este mai mare unghiul de orientare „$\Delta\alpha_b$" al muchiilor M, cu atît este mai

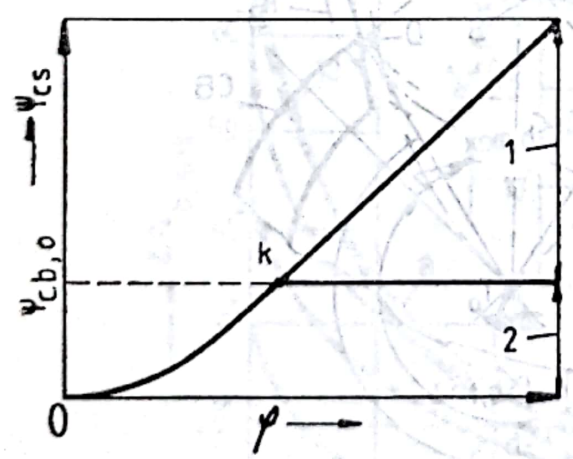


Fig. 11.9. Caracteristica dinamică „ψ_φ" — „φ".

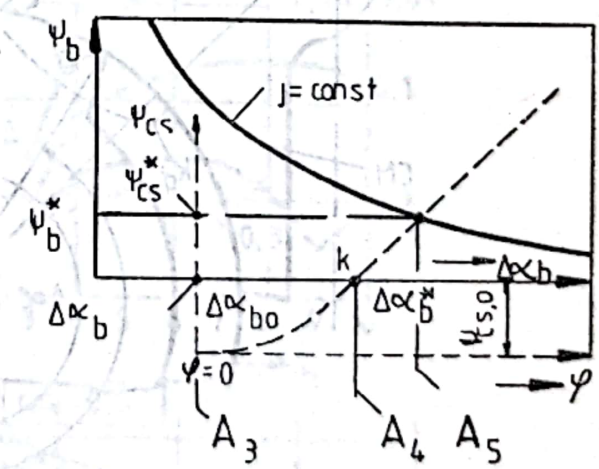


Fig. 11.10. Caracteristicile dinamice.

mică amplitudinea „ψ_{cs}" a mişcării cu şoc (fig. 11.8 şi fig. 11.9). Pe caracteristica mişcării cu şoc din fig. 11.9 a fost notată cu „1" zona mişcării libere a crucii de Malta în cadrul jocului „j", iar cu „2" cea în care are loc detensionarea elementelor constructive ale mecanismului. Prin punctul A_5 (fig. 11.6) a fost marcat momentul de impact dintre crucea de Malta,

Scanned with OKEN Scanner

în mișcarea de sens invers datorită șocului, și cilindrul de blocare. Caracteristicile acestui moment ψ_b^*, ψ_{cs}^* și $\Delta\alpha_b^*$ (fig. 11.10) sînt obținute prin suprapunerea caracteristicilor cilindrului de blocare (fig. 11.8) peste ale crucii de Malta (fig. 11.9); amplitudinea rezultantă a mișcării cu șoc fiind: $\psi_{cs}^* = \psi_{cs,0} + \psi_b^*$

Mărirea unghiului „$\Delta\alpha_b$" este limitată de apariția coliziunii cilindrului de blocare și crucii de Malta. Condițiile evitării acestei coliziuni, și deci determinarea valorii maxime a unghiului „$\Delta\alpha_b$" pot fi determinate pe cale grafică (fig. 11.11). În acest scop sînt considerate anumite puncte critice (A, B, C) pentru crucea de Malta și (D, D') pentru cilindrul de blocare; verificînd ca traiectoriile acestora, în mișcarea relativă dintre crucea de Malta și cilindrul de blocare, respectiv dintre cilindrul de blocare și crucea de Malta să nu intersecteze corpul față de care este raportată mișcarea relativă. Referitor la crucea de Malta, coliziunea dintre cele două corpuri este produsă numai datorită punctului B, fapt pentru care este mai favorabil ca forma crucii de Malta, din vecinătatea unui canal, să fie constituită de punctele AC, respectiv $A'C'$ și nu AB, respectiv $A'B'$.

În fig. 11.12 este prezentată variația unghiului „$\Delta\alpha_{b,\,max}$" în funcție de raporturile dintre anumite elemente geometrice ale mecanismului cu cruce de Malta, pentru cazul $z_c=4$. Astfel, pentru valori mici ale raportului d_r/A, unghiul „$\Delta\alpha_{b,\,max}$" devine cu atît mai mare cu atît cît este mai

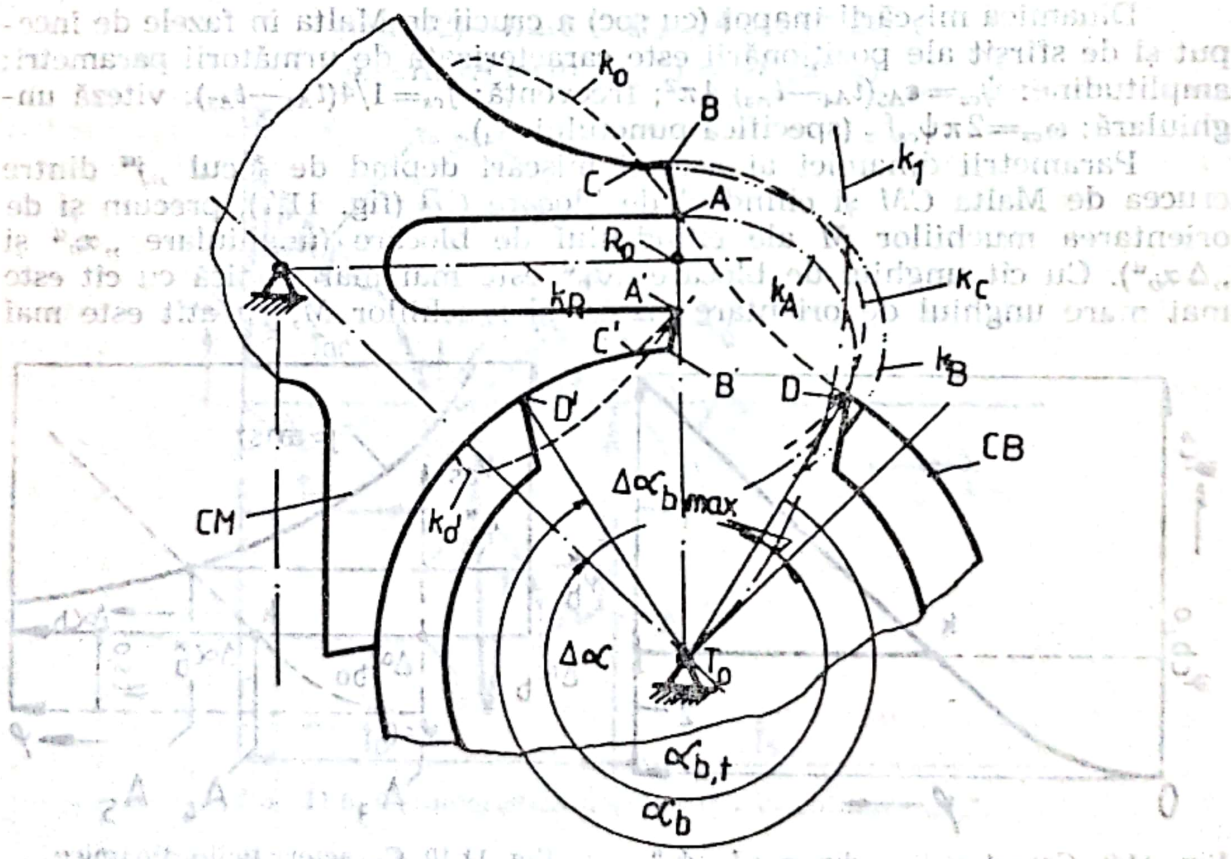


Fig. 11.11. Determinarea grafică a punctelor de coliziune.

mic raportul c/A, adică cu cît este mai mare raza cilindrului de blocare, presupunînd însă un raport mult prea redus între elementele geometrice ale canalului crucii de Malta (d_r/h). În schimb pentru valori medii ale raportului d_r/A, mărimea unghiului de blocare „$\Delta\alpha_b$" poate fi realizată independent de raportul c/A, adică independent de „r_b". Cînd raportul

Scanned with OKEN Scanner

d_r/A are valori ridicate suprafața de blocare dintre cele două corpuri va scade.

Pentru proiectare este recomandat, cel mai adesea, raportul $c/d_r=0,5$, variația unghiului „$\Delta\alpha_{b,\,max}$", ca funcție de raportul d_r/A și numărul de canale, fiind, în acest caz, reprezentată în fig. 11.13.

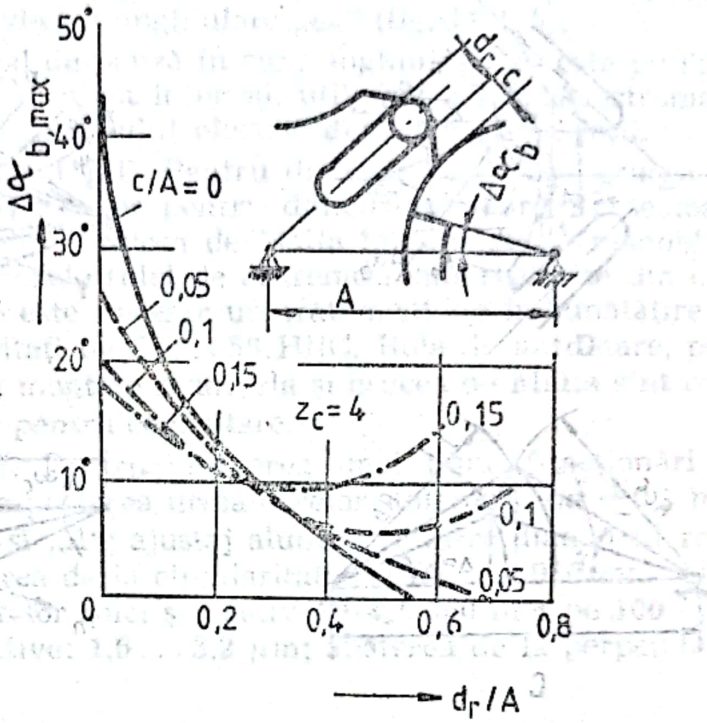


Fig. 11.12. Variația unghiului „$\Delta\alpha_{b,\,max}$" față de elementele geometrice.

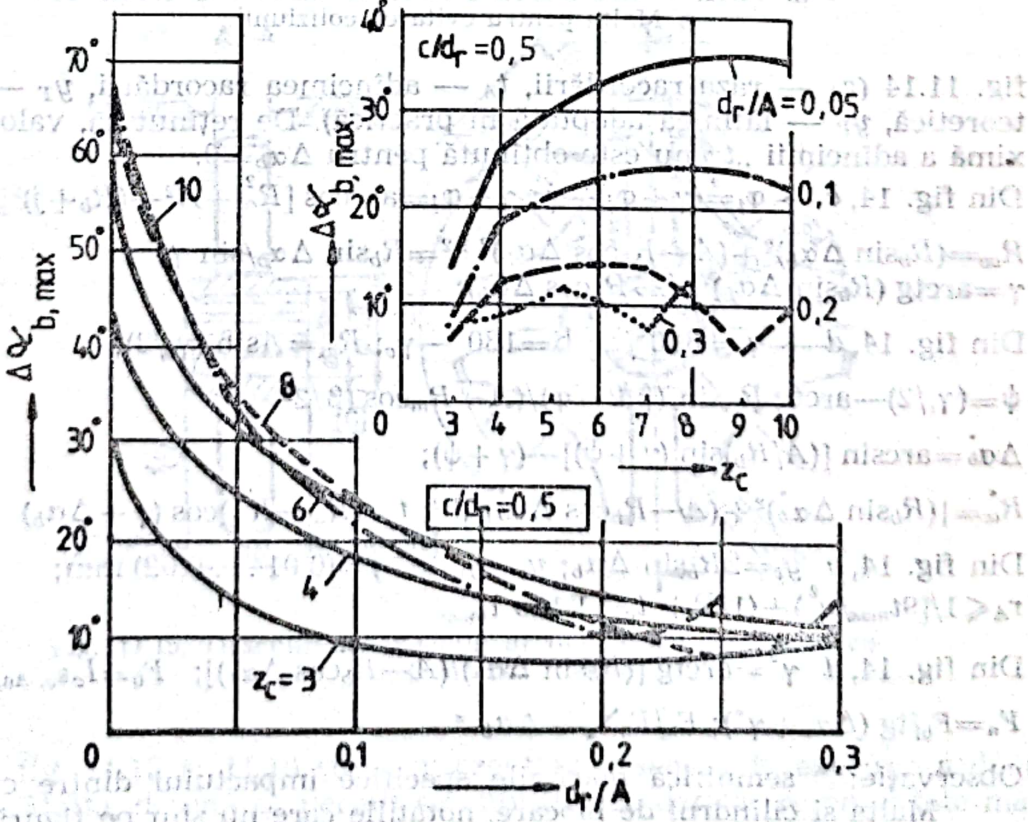


Fig. 11.13. Variația unghiului „$\Delta\alpha_{b,\,max}$" funcție de raportul d_r/A și z_c.

Scanned with OKEN Scanner

Urmărind traiectoriile „K_D“ și „K_D “ (fig. 11.11 și fig. 11.14, *a*) ale punctelor „*D*“, respectiv „*D'*“, poate fi constatată intersecția acestora cu crucea de Malta în zona suprafeței de blocare, pe adîncimea „*t*“. Pentru evitarea acestei coliziuni este favorabilă o degajare a crucii de Malta în centrul arcului de blocare a cărei formă și dimensiuni sînt prezentate în

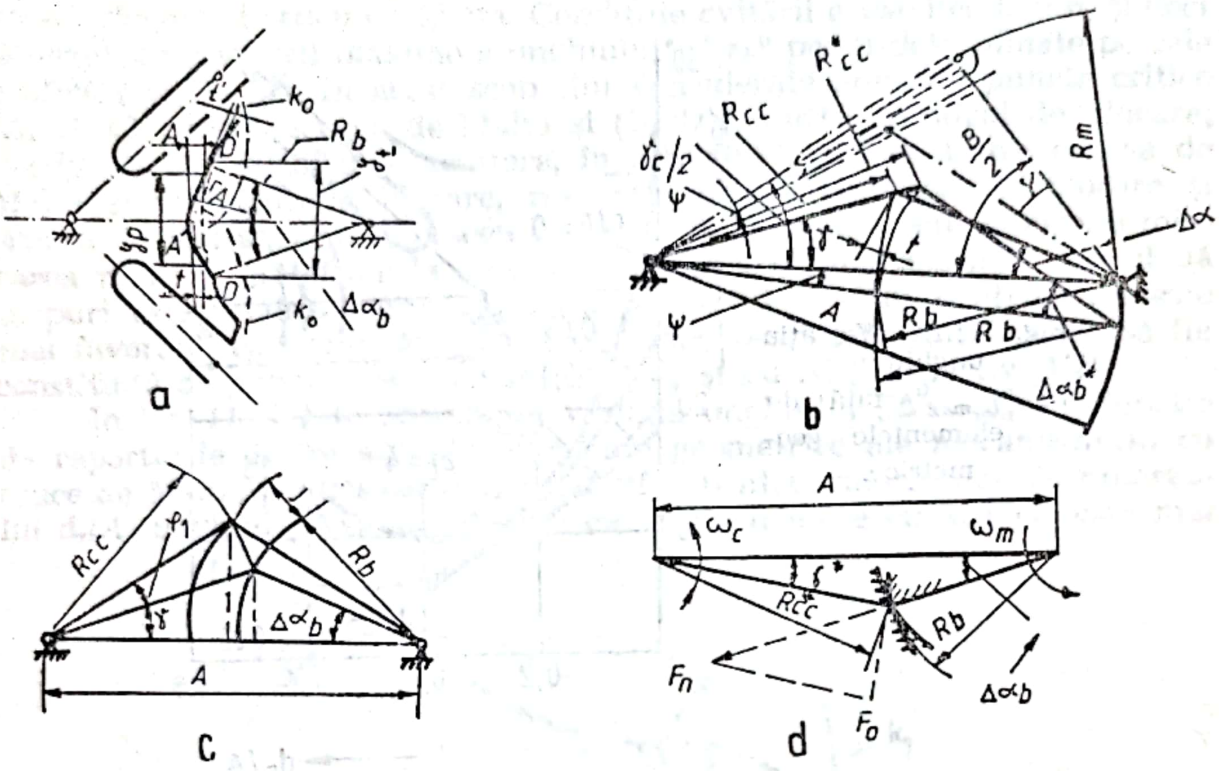


Fig. 11.14. Determinarea formei geometrice a crucii de Malta pentru evitarea coliziunii.

fig. 11.14 (r_A — raza racordării, t_A — adîncimea racordării, y_T — lățimea teoretică, y_P — lățimea adoptată în practică). De reținut că, valoarea maximă a adîncimii „*t*“ nu este obținută pentru $\Delta\alpha_b=0$.

Din fig. 14, *c* → $\varphi_j=(\gamma+\varphi_j)-\gamma$; $\gamma+\varphi_j=\arccos[R_{cc}^2+A^2-(R_b+j)^2]/2R_{cc}A$;

$R_{cc}=(R_b\sin\Delta\alpha_b)^2+(A-R_b\cos\Delta\alpha_b)^{2\,1/2}=R_b\sin\Delta\alpha_b/\sin\gamma$;
$\gamma=\operatorname{arctg}(R_b\sin\Delta\alpha_b)/(A-R_b\cos\Delta\alpha_b)$.

Din fig. 14, *d* → $\gamma_c=360°/z_c$; $\beta=180°-\gamma_c$; $R_m=A\sin(\gamma_c/2)$;

$\psi=(\gamma_c/2)-\operatorname{arctg} R_m\sin(\beta/2-\varphi)/(A-R_m\cos(\beta/2-\varphi)$;

$\Delta\alpha_b^{\bullet}=\arcsin[(A/R_b)\sin(\gamma+\psi)]-(\gamma+\psi)$;

$R_{cc}^{\bullet}=[(R_b\sin\Delta\alpha_b^{\bullet})^2+(A-R_b\cos\Delta\alpha_b^{\bullet})^2]^{1/2}$; $t\approx(R_{cc}^{\bullet}-R_{cc})\cos(\gamma+\Delta\alpha_b)$

Din fig. 14, *a* $y_t=2R_b\sin\Delta\alpha_b$; $y_t-y_p=t'$ $j=(0{,}01\ldots0{,}02)$ mm;
$r_A\leqslant 1/[9t_{max}/y_p^2)+(1/R_b)$; $t_a\geqslant 1{,}125\ t_{max}$.

Din fig. 14, *d* $\gamma^*=\operatorname{arctg}[(R_b\sin\Delta\alpha_b^{\bullet})/(A-R_b\cos\Delta\alpha_b^{\bullet})]$; $F_0=I_c\varepsilon_{c.\,A6}/R_{cc}^{\bullet}$;

$F_n=F_0/\operatorname{tg}(\Delta\alpha_b+\gamma^*)$; $F_n/F_0\searrow\rightarrow\Delta\alpha_b\nearrow$.

Observație: * semnifică mărimile specifice impactului dintre crucea de Malta și cilindrul de blocare, notațiile care nu sînt pe figuri au semnificația din tabelul 11.1;

Scanned with OKEN Scanner

Varianta constructivă a crucii de Malta cu două role de antrenare (fig. 11.2 și tabelul 11.1) prezintă următoarele avantaje:

— contact permanent între roata de antrenare și crucea de Malta prin rolele de antrenare;

— accelerarea și deccelerarea organului de lucru sînt realizate fără a folosi mecanisme suplimentare sau soluții constructive complicate, datorită variației sinusoidale a vitezei unghiulare „ω_c“ (fig. 11.2, *b*);

— existînd un interval de pauză în care unghiul $\gamma_c=0$, este posibilă frînarea roții de antrenare în acest interval, utilizînd o frînă electromagnetică montată pe arborele motorului electric de antrenare a roții.

MATERIALE DE EXECUȚIE. Pentru dimensiuni reduse, crucea de Malta este executată monobloc, iar pentru dimensiuni mari din sectoare portcanale aplicate pe un disc. Crucea de Malta în construcție monobloc, sectoarele portcanale și arborele rolei de antrenare sînt realizate din oțel aliat cu crom, pentru care este necesar un tratament de îmbunătățire în vederea obținerii unei durități de 50 . . . 58 HRC. Rola de antrenare, precum și arborii pe care sînt montate manivela și crucea de Malta sînt confecționate din oțel cu crom pentru cementare.

CONDIȚII TEHNICE. Pentru obținerea unei bune funcționări în exploatare este necesară respectarea următoarelor: toleranțe de $\pm$0,1 mm pentru dimensiunile „R_m“ și „A“; ajustaj alunecător între diametrul rolei și lățimea canalului; abaterea de la circularitate a rolei $\leqslant$0,010 mm; abaterea de la paralelismul axelor rolei și manivelei $\leqslant$0,050 mm pe 100 mm; rugozitatea suprafețelor active: 1,6 . . . 3,2 μm; abaterea de la perpendicularitate $\leqslant$0,02 mm.

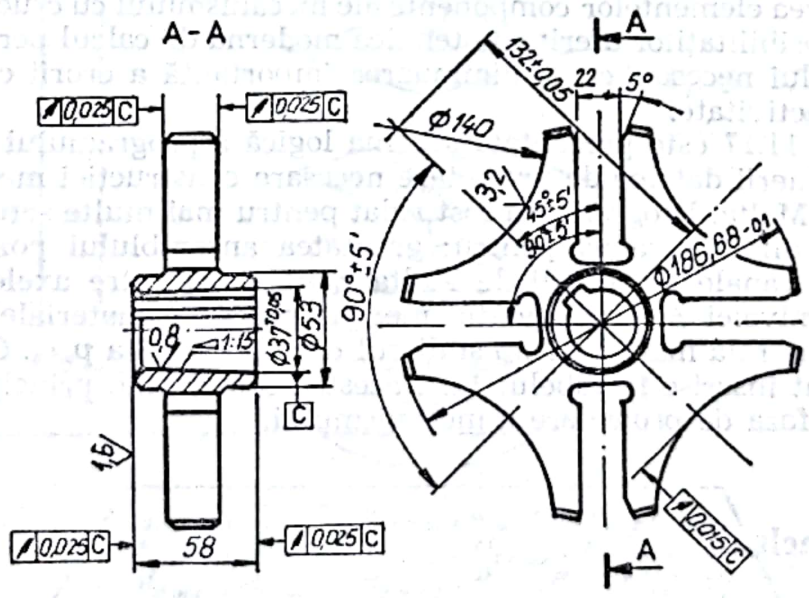


Fig. 11.15. Desenul de execuție al unei cruci de Malta cu 4 canale.

În fig. 11.15 și 11.16 sînt reprezentate desenele de execuție a două cruci de Malta, desene ce permit exemplificarea datelor recomandate mai înainte.

Scanned with OKEN Scanner

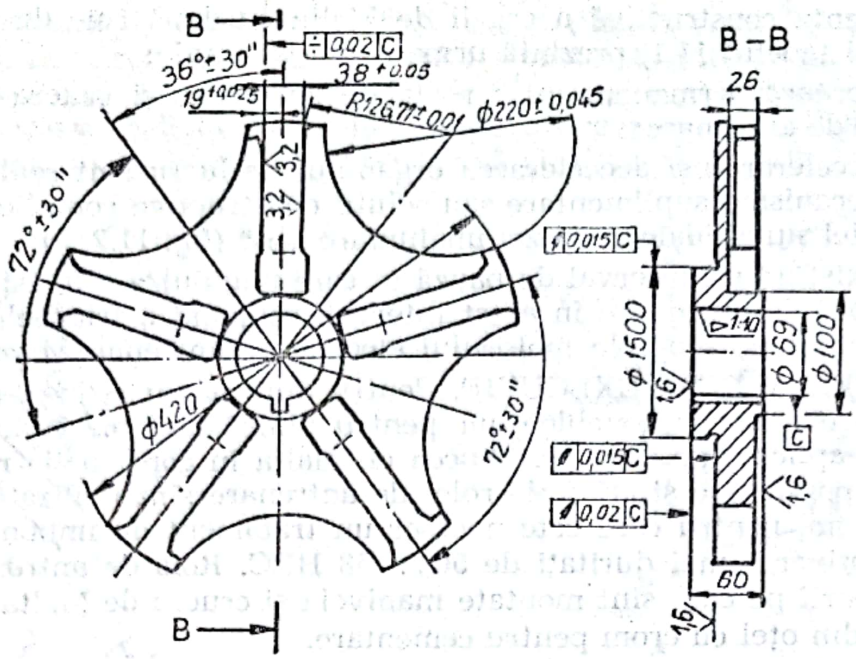


Fig. 11.16. Desenul de execuție al unei cruci de Malta cu 5 canale.

3. Algoritm de calcul

Avînd în vedere calculul destul de laborios ce trebuie urmărit pentru proiectarea elementelor componente ale mecanismului cu cruce de Malta, utilizarea posibilităților oferite de tehnica modernă de calcul permite reducerea timpului necesar, cît și diminuarea importantă a erorii ce însoțește o astfel de activitate.

În fig. 11.17 este prezentată schema logică a programului realizat în vederea obținerii datelor de proiectare necesare construcției mecanismului cu cruce de Malta. Programul a fost rulat pentru mai multe seturi de date, considerînd diferite valori pentru: greutatea ansamblului poziționat G_t, numărul de canale ale crucii de Malta z_c, distanța între axele crucii de Malta și manivelei A, randamentul mecanismului η_c, materialele din care sînt executate rola manivelei σ_{ai} și discul crucii de Malta p_{adm}. O parte din rezultate sînt înscrise în tabelul 11.3, acestea constituind principalele date necesare în faza de proiectare a mecanismului.

4. Concluzii

Mecanismul cu cruce de Malta, producînd efecte dinamice ce înrăutățesc funcționarea acestuia în momentele de început și sfîrșit ale poziționării, datorită unei mișcări cu șoc, sînt analizate caracteristicile dinamice ale acesteia și sînt propuse soluții constructive pentru îmbunătățirea comportării dinamice. Acestea se referă la adoptarea unui unghi de blocare cît mai mare al cilindrului de blocare, la o formă adecvată a crucii de Malta, din vecinătatea canalelor, astfel încît să fie eliminată coliziunea

Scanned with OKEN Scanner

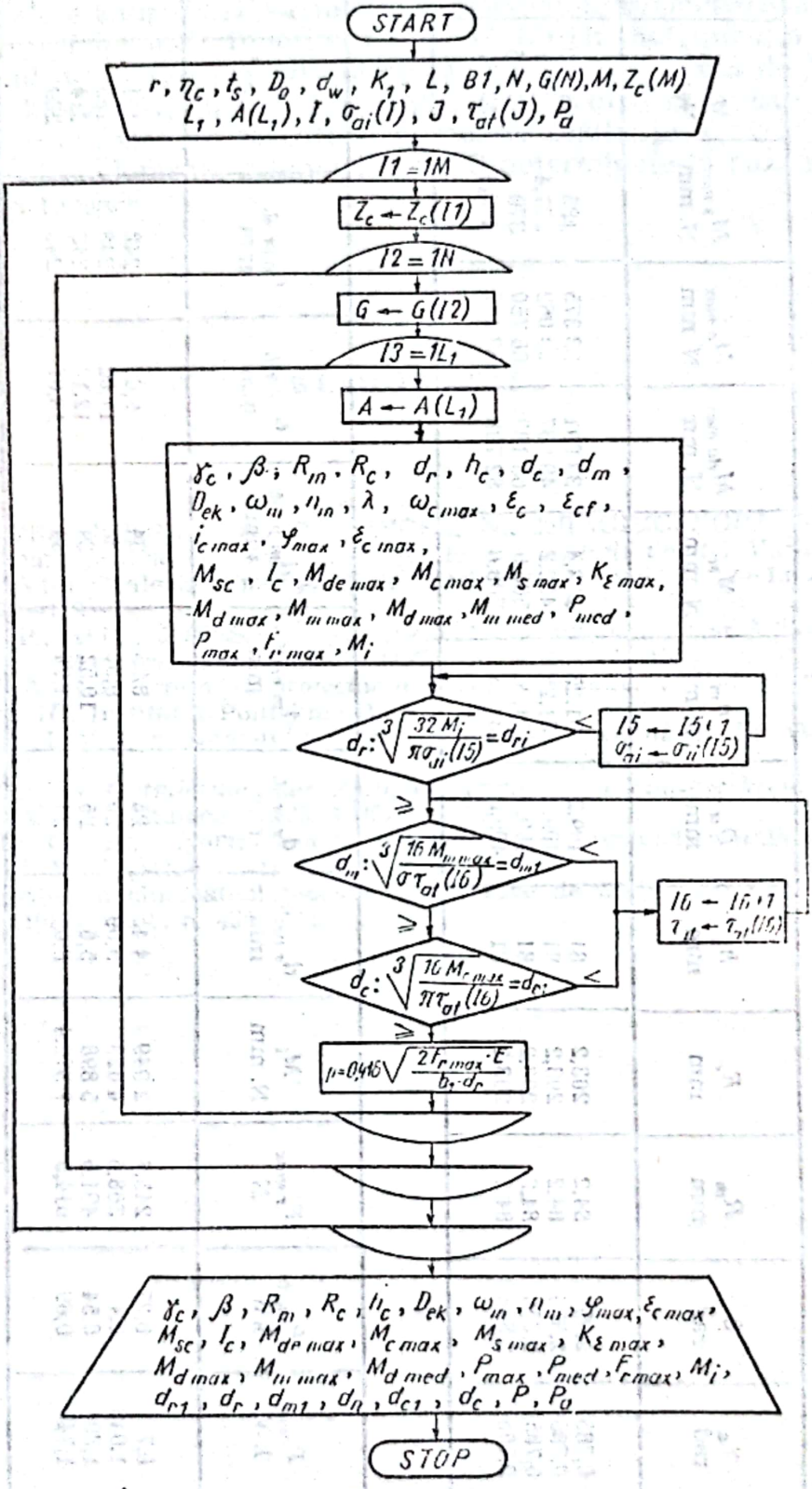


Fig. 11.17. Schema logică a programului de calcul.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 11.3. **Rezultatele rulării programului de calcul pentru G_t, Z_c, A, η_c, σ_{ai} și $P_{adm.}$ diferite**

G_t N	γ_c rad	β rad	R_m mm	R_c mm	h_c mm	D_{ec} mm	n_m rot/min	M_{sc} N. mm	$M_{dc\ max}$ N. mm	$M_{c\ max}$ N. mm	$M_{s\ max}$ N. mm	$M_{d\ max}$ N. mm	$M_{m\ max}$ N. mm
600	0,785	2,356	84,2	203,2	81	409,2	31,25	283,4	33 091	33 375	185	21 593	21 778
900	0,785	2,356	84,2	203,2	81	409,2	31,25	452,2	49 637	50 062	277,4	32 390	32 667
1 200	0,785	2,356	84,2	203,2	81	409,2	31,25	566,9	66 183	66 750	370	43 186	43 556
1 500	0,785	2,356	84,2	203,2	81	409,2	31,25	708,6	82 728	83 437	462,4	53 983	54 445

$M_{d\ med}$ N. mm	P_{max} kW	P_{med} kW	$F_{r\ max}$ N	M_i N. mm	$d_{r\ verif.}$ mm	$d_{r\ pred.}$ mm	$d_{m\ verif.}$ mm	$d_{m\ pred.}$ mm	$d_{c\ verif.}$ mm	$d_{c\ pred.}$ mm	p N. mm^2	p_a N. mm^2
8 118,8	0,7	0,27	245,7	2 949	4,45	25	8,35	34	9,63	248	151	440
12 178	1,048	0,4	368,6	4 423	5,09	25	9,56	34	11,02	248	185	440
16 238	1,39	0,54	491,5	5 898	5,6	25	10,52	34	12,13	248	214	440
20 297	1,74	0,69	614,3	7 372,4	6,0	25	11,34	34	13,07	248	239	440

$z_c=8$; $A=220$ mm; $\eta_c=0,95$; $t_s=1,2$ s; $\sigma_{ai}=340$ N/mm^2.

Scanned with OKEN Scanner

dintre crucea de Malta și cilindrul de blocare pe durata mișcării cu șoc cauzată de intrarea și ieșirea rolei de antrenare din canalele crucii de Malta.

Pot fi alese anumite raporturi între elementele geometrice ale mecanismului, în așa fel încît funcționarea sa să fie cît mai liniștită. Mărindu-se unghiul de blocare, condițiile de blocare dintre crucea de Malta și cilindrul de blocare devin mai favorabile, fapt pentru care este propusă modificarea suprafeței de blocare a crucii de Malta prin execuția unei degajări ale cărei elemente geometrice pot fi determinate în baza relațiilor prezentate în lucrare.

BIBLIOGRAFIE

1. AURITE, TR., GHIONEA, A., PREDINCEA, N., DRĂGHICENOIU, GH. *Mecanisme utilizate pentru mișcarea intermitentă la mașinile-unelte. Variante cinematice.* A VI-a Conferință națională de Mașini-unelte, vol. I, 12—13 decembrie 1986; p. 126—138.
2. BARTON, P., REES, JONES, J. *Dynamische untersuchungen von Malteserkreuzgetrieben.* În: Maschinenbautechnik 24 (1975), nr. 4, p. 152—158.
3. MORARU, V. ș.a. *Teoria și proiectarea mașinilor-unelte. Îndrumar de proiectare,* partea III. Institutul Politehnic București, 1987.
4. NADEJDIN, I. V. *Samoustanavlivainscisco maltiiskie mehanismî.* În: IVUZ, 1987, p. 49—53.
5. NERGE, G. *Zur Optmierung der Zylindersperrung von Malteserkreuzmechanismen.* În: Maschinenbautechnik, 35 (1986) 6, p. 271—273.
6. SAUMEAN, G., A., *Kompleksnaia avtomatizații proizvodstvennîh protessov.* Moskva, Izd. Mașinostroenie, 1973.
7. TOTU, A. Studiul cinematicii mecanismului cruce de Malta. În: Construcția de mașini, 39 (1987), nr. 9, p. 436—441.

Scanned with OKEN Scanner

12.
Organizarea întreţinerii şi reparării flexibile a utilajelor

Dr. ing. *Vasile Bejan*
Universitatea din Braşov

1. Obiectivele actuale ale activităţii de întreţinere şi reparaţii

Asigurarea funcţionării corespunzătoare, fără avarii şi fără scoateri îndelungate din circuitul producţiei, a maşinilor şi utilajelor este strîns lègată de efectuarea la timp a unor lucrări de întreţinere şi prevenire a defectelor.

Întreţinerea în stare de siguranţă a utilajelor reprezintă o funcţie de producţie a unei întreprinderi care trebuie realizată, ca şi producţia, în condiţii de eficienţă.

Opririle accidentale (avariile), uzurile premature (ca urmare a unei exploatări necorespunzătoare), dereglările neobservate, întîrzierea în aplicarea anumitor lucrări de întreţinere şi reparaţii, sau aplicarea necorespunzătoare a unor metode ce nu sînt adecvate stării de degradare, formei, materialului şi rolului funcţional al pieselor utilajului au ca efect scăderea caracteristicilor funcţionale, a duratei totale de serviciu a utilajului, rezultînd în consecinţă o scădere a calităţii produsului realizat pe acel utilaj.

Activitatea de întreţinere şi reparaţii trebuie abordată într-un mod nou pentru a menţine pe un timp cît mai mare caracteristicile funcţionale optime ale utilajului.

2. Consideraţii asupra metodelor de organizare şi conducere a activităţii de întreţinere şi reparaţii

Literatura de specialitate [1, 3, 4] prezintă date teoretice şi experimentale (din experienţa unor întreprinderi) cu privire la metodele de organizare şi conducere a activităţii de întreţinere şi reparaţii. Se prezintă în continuare, în sinteză, cele trei metode cunoscute [1, 3], în ţară şi pe plan mondial, şi punctul de vedere al autorului referitor la rolul proiectării în realizarea unei activităţi de întreţinere şi reparaţii flexibile şi eficiente.

a. **Întreţinerea după necesitate.** Este prima metodă aplicată (mai este încă utilizată în multe întreprinderi); presupune a repara utilajul (dispozitivul) numai atunci cînd nu mai corespunde funcţional, asupra utilajului

Scanned with OKEN Scanner

reparat neefectuîndu-se în perioada de funcţionare lucrări de întreţinere şi reparaţii. Prezintă mari dezavantaje printre care se enumără: reparaţia utilajului este lăsată pe seama muncitorilor (demontează, controlează şi decid ce piese se înlocuiesc şi care se recondiţionează), nu se pot face previziuni asupra modului de desfăşurare a activităţii în sine cît şi asupra necesarului de maşini şi dispozitive de lucru, a numărului pieselor de schimb, asupra aparaturii de lucru, a necesarului de oameni cît şi asupra metodelor necesare recondiţionării şi reparării pieselor simple şi a utilajului.

b. **Întreţinerea preventivă.** Este o metodă utilizată în ţările dezvoltate industrial şi constă în a organiza, după anumite principii, activitatea de întreţinere şi reparaţii în aşa fel încît starea de bună funcţionare a utilajului să nu mai evolueze întîmplător. În cadrul acestui mod de organizare şi conducere sînt folosite în principal trei metode: întreţinerea prin control a utilajului; întreţinerea periodică; întreţinerea planificată, avînd fiecare metodă avantaje şi dezavantaje [1, 3], dar reprezintă un mod superior de efectuare a reparaţiilor faţă de prima metodă.

c. **Întreţinerea funcţională.** Este o metodă ce se impune tot mai mult şi urmăreşte micşorarea timpilor opririlor accidentale prin: utilizarea mai eficientă a forţei de muncă, prin determinarea punctelor slabe în funcţionarea utilajelor, evidenţierea strictă a evenimentelor legate de utilaj, cît şi prin planificarea mai bună a activităţii. În acest sistem de întreţinere şi reparaţii operaţiile sînt astfel concepute încît fiecare depinde de cea anterioară [1, 3]. A fost propusă de R.F.G. la primul congres de întreţinere organizat de Federaţia Europeană a Societăţilor Naţionale de Întreţinere. În cadrul acestei metode a fost definit un sistem „Intern" de întreţinere funcţională ce impune şi existenţa unui sistem de întreţinere exterioară integrată, deoarece vechea noţiune de calitate nu mai este suficientă pentru aprecierea utilajelor, trebuind să o cuprindă şi pe aceea de siguranţă în exploatare. La acest mod de organizare, informaţiile necesare etapei următoare, activităţii, parcurg atît sensul de la institutele de inginerie tehnologică către întreprindere (secţie), dar şi invers, pentru a crea banca de date necesare îmbunătăţirii continue a activităţii.

3. Propuneri privind organizarea şi desfăşurarea activităţii de întreţinere şi reparaţii flexibile

Condiţiile realizării unui sistem flexibil de reparaţii. Fără a diminua valoarea metodelor de organizare prezentate, autorul consideră că indiferent de forma de organizare şi conducere a activităţilor de întreţinere şi reparaţii, un sistem complet trebuie astfel conceput încît să poată rezolva problemele cuprinse în schema din fig. 12.1, ce reprezintă, în fapt, un nou mod de structurare şi ordonare a activităţii de întreţinere şi reparaţii, la care problemele ce trebuiesc rezolvate sînt grupate după patru direcţii principale şi anume:

I — Ce vrem să facem — Diagnosticarea şi repararea piesei, utilajului?
II — Cu ce metode vrem să recondiţionăm (reparăm)?
III — În ce condiţii de organizare, pregătire şi dotare tehnică vrem să reparăm?

Scanned with OKEN Scanner

IV — Ce rezultă? Refacerea caracteristicilor funcționale (trebuiesc asigurate și metodele de control ale acestora)

Trebuie unanim acceptat că nivelul de fiabilitate dar mai ales mentenabilitatea (reparabilitatea) unui utilaj se stabilește în timpul proiectării, prin soluțiile constructiv-tehnologice adoptate pieselor simple, subansamblelor, precum și prin modul de asamblare dintre diferitele subansamble defectabile.

Astfel se regăsesc cele două subsisteme [1] intern și extern ale activității de întreținere a utilajelor dintr-o întreprindere (menționate în subcapitolul anterior).

Se poate afirma că nici o piesă nu poate fi recondiționată decît prin metoda pe care o admite însăși forma funcțional-tehnologică a acesteia, care, la rîndul ei, este definită de rolul funcțional, materialul utilizat și natura semifabricatului de pornire, posibilitățile tehnologice de fabricare și tratamentul termic secundar aplicat [1]. Metodele de recondiționare, ce pot fi aplicate unei piese mai depind atît de metoda de verificare și de suprafețele tehnologice față de care se verifică gradul de degradare (tasare, deformare, uzare) și se efectuează reprelucrarea piesei după recondiționare (dacă ținem seama de faptul că nu toate suprafețele unei piese necesită a fi recondiționate), cît și de faptul dacă piesa poate, sau trebuie, să fie recondiționată în secția de producție sau într-o secție de reparații.

Nu se neagă importanța activităților legate de curățirea, ungerea și reglarea utilajului în perioada de funcționare și nici sistemele sofisticate ce pot fi organizate în scopul urmăririi, controlului și înregistrării evenimentelor utilajelor, determinării momentelor optime de întreținere preventivă și de reparații, de înlocuire a unui număr de piese, însă toate acestea depind, din punct de vedere tehnic și organizatoric, de soluțiile funcțional-tehnologice adoptate pieselor simple, ansamblului funcțional din care fac parte.

Realizarea unui sistem flexibil de întreținere și reparații este posibilă numai dacă metodele de control al stării piesei (utilajului) și a calității reparației (recondiționare) nu depind de tipul constructiv și de rolul funcțional al utilajului, ce trebuie proiectat după principiul modulării, pentru a putea separa părțile cu grad mare de defectare de cele cu grad mic de defectare. Astfel, se pot folosi principii unice de proiectare a pieselor simple subansamblelor (din punct de vedere al mentenanței) și se pot stabili soluții de asamblare ce permit: a constata gradul de degradare al utilajului și a întreprinde măsuri în mod unitar și sistemic în activitatea de întreținere periodică și de reparații.

Studii recente, efectuate de autor, asupra problemelor legate de activitatea de reparații au relevat faptul că orice greșeală (sau omisiune) produsă la proiectarea piesei (utilajului) pe linia întreținerii și reparării acesteia, determină un consum mare de timp, materiale și energie pentru îndreptare. Acest volum este de zeci de ori mai mare decît cel ce s-ar fi consumat suplimentar pentru a proiecta, de la început, corect piesa. Se mai întîlnesc situații cînd valoarea medie a orei de proiectare (a echipamentului tehnologic) este de 7 . . . 8 ori mai mică decît a celei de execuție.

Acestea demonstrează că piesele (dispozitivele, utilajele) prezintă forme constructive, netehnologice, insuficient studiate (activitatea de desenare, de rutină are o pondere mai mare față de cea de creație) ce determină o tehnologie de fabricare și recondiționare greoaie, neeconomică, ce nu asigură la recondiționare, refacerea totală a caracteristicilor funcționale.

În continuare se prezintă cîteva din problemele, menționate în

Scanned with OKEN Scanner

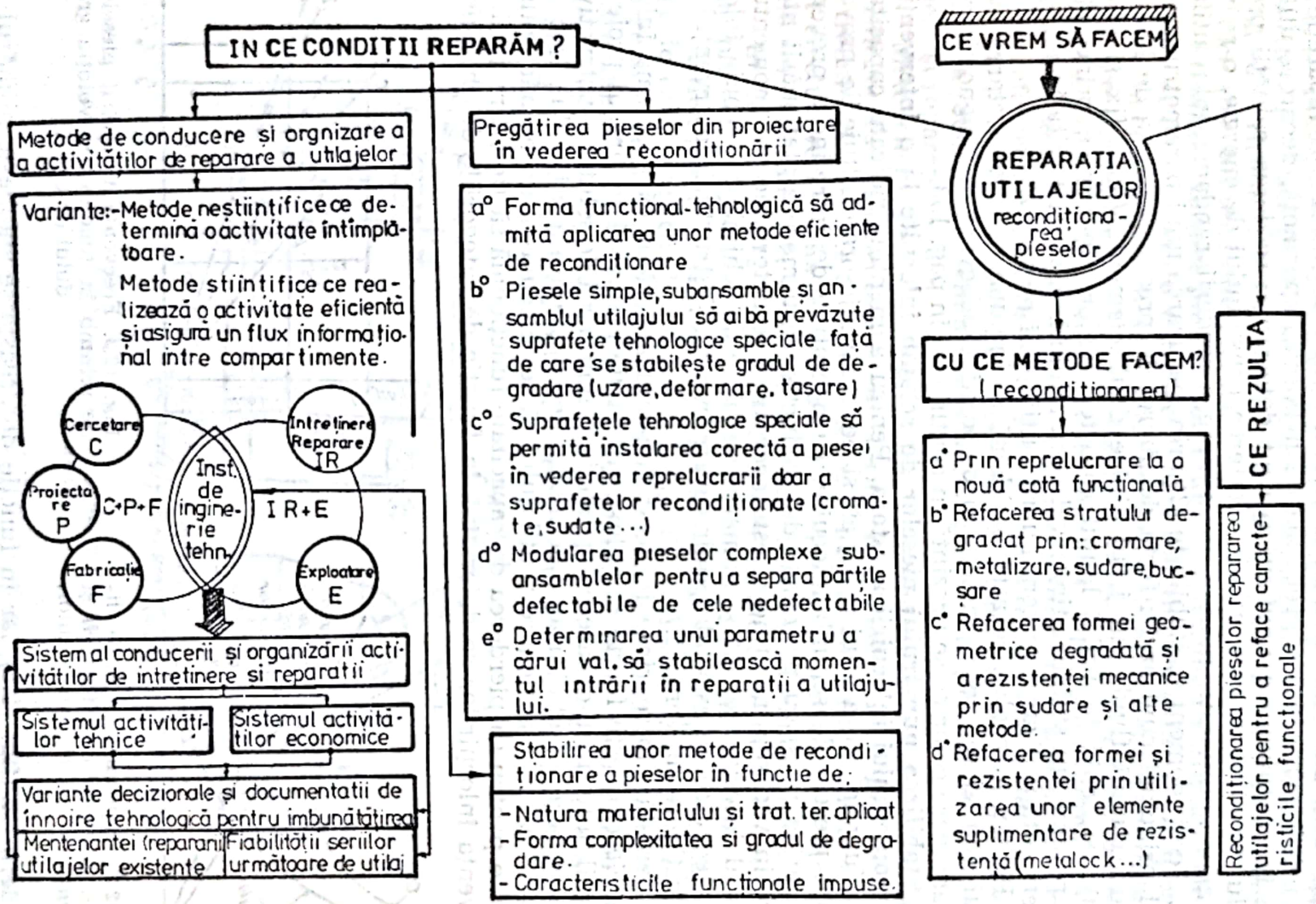


Fig. 12.1. Ansamblul problemelor ce trebuie rezolvate în activitatea de întreținere și reparații flexibile.

Scanned with OKEN Scanner

schema din fig. 12.1, care influențează forma funcțional-tehnologică a pieselor (utilajelor) supuse recondiționării (reparării).

Diagnosticarea stării utilajului — stabilirea momentului de intrare în reparații. Determinarea momentului optim de intrare în reparație a unui utilaj reprezintă o problemă de maximă importanță, deoarece utilizarea în continuare a unui utilaj uzat determină: scăderea calității produsului (realizat pe acel utilaj), creșterea consumului de energie, o reducere a productivității muncii, ca urmare a scăderii randamentului utilajului. Acest moment se stabilește [2] prin măsurarea unui parametru funcțional principal cum ar fi: forța de tăiere, de presare; energia de lovire, presiunea unui fluid, sau jocul dintre două elemente (unul fix și altul mobil) ce închid în utilaj lanțul caracteristicilor funcționale principale. Dacă parametrul stabilit atinge valoarea minimă (maximă) critică, nu mai este eficentă utilizarea în continuare a utilajului respectiv.

Pentru a rezolva această problemă se impune ca la proiectarea utilajului nou să se creeze metode și dispozitive adecvate de diagnosticare, asemănătoare celor ce se prezintă în continuare în pag. 153.

Stabilirea numărului pieselor de schimb înlocuite la o intervenție și a momentului înlocuirii acestora. Pentru a menține ridicată capacitatea de funcționare a unui utilaj cît și pentru a micșora cheltuielile provocate cu piesele de schimb înlocuite, cu operațiile de întreținere preventivă, periodică, și cu pierderile de producție, ca urmare a staționării utilajelor în vederea întreținerii, este necesar să se determine atît momentul optim al intervenției cît și numărul de piese de schimb ce trebuie înlocuite, deci este necesară determinarea frecvenței și structurii intervențiilor de întreținere preventivă.

Cercetări întreprinse în acest domeniu au arătat că problema înlocuirii pieselor este foarte complexă și trebuie rezolvată în timpul proiectării utilajului nou, deoarece depinde în primul rînd de soluția constructiv-tehnologică a pieselor și apoi de modul de exploatare a utilajului. Important este ca la o staționare a utilajului să se înlocuiască un număr optim de piese pentru ca pierderea de capacitate funcțională să fie cît mai mică. Frecvența înlocuirilor se determină în funcție de categoriile de cheltuieli

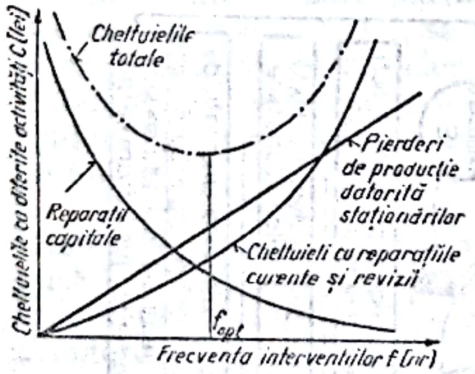


Fig. 12.2. Dependența dintre diferitele categorii de cheltuieli și frecvența optimă a intervențiilor.

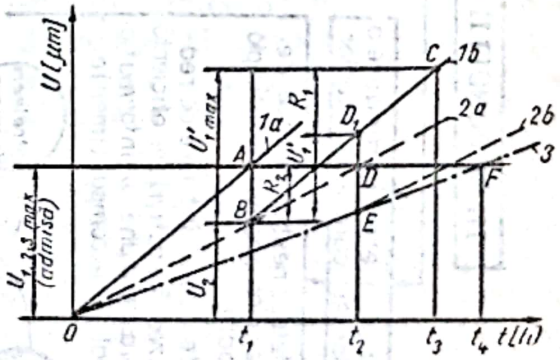


Fig. 12.3. Frecvența înlocuirii pieselor de schimb în funcție de evoluția gradului de uzură.

ce o definesc (fig. 12.2), iar în funcție de aceasta se stabilește numărul și structura echipelor de muncitori ce efectuează întreținerea preventivă, pentru a obține o eficiență maximă.

Astfel, dacă într-un subansamblu funcțional se află trei piese cu comportări diferite (fig. 12.3) la uzare (supuse la solicitări diferite, sînt

Scanned with OKEN Scanner

confecționate din materiale diferite și au aplicate tratamente termice diferite), se ajunge la situația că frecvența înlocuirilor (opririlor) este variabilă.

Dacă la înlocuirea piesei *1a*, în momentul t_1, se înlocuiește și piesa *2a*, se produce o pierdere de capacitate funcțională R_2, sau dacă în momentul t_2 se înlocuiește atît piesa *2a* cît și piesa *1b* se produce o pierdere de capacitate R_1. Dacă piesele se înlocuiesc numai la atingerea uzurii maxime, numărul opririlor este mai mare. Aspectele legate de înlocuirea pieselor pot face obiectul unei alte lucrări.

Stabilirea formei pieselor în vederea determinării gradului de degradare și de refacere a caracteristicilor funcționale prin recondiționare. Crearea unei metodologii și a unor mijloace de măsurare a gradului de degradare (uzare, tasare) și de refacere a caracteristicilor funcționale ale unei piese reprezintă o problemă de maximă importanță atunci cînd ne propunem să stabilim atît o metodă de recondiționare a piesei cît și nivelul de refacere a caracteristicilor funcționale prin acea metodă.

De felul cum este rezolvată această problemă depinde modul de soluționare a problemelor tehnice și de organizare a întregii activități de întreținere și reparații.

Metodele de verificare a gradului de degradare și de refacere a caracteristicilor funcționale depind de forma funcțional-tehnologică a piesei, ce trebuie să prezinte suprafețe tehnologice [1] speciale, față de care se pot efectua verificările menționate. Poziția acestor suprafețe se stabilește conform criteriilor [1] ce definesc forma funcțional-tehnologică a piesei.

În fig. 12.4 ... 12.7 se prezintă cîteva exemple ale modului cum trebuie proiectate piesele ținînd seama de cele descrise mai înainte.

Astfel, pentru piesa din fig. 12.4 se prevăd suprafețele tehnologice *A* față de care, prin cotele de control X_{1c}, Y_{1c} și Y_{2c}, se verifică gradul de tasare și de uzură al suprafețelor funcționale *B* și *C* și se stabilește care dintre suprafețele funcționale influențează mai mult asupra modificării cotei funcționale Y_f. Astfel se poate stabili ce suprafață trebuie recondiționată și prin ce metodă pentru a reface cota funcțională menționată.

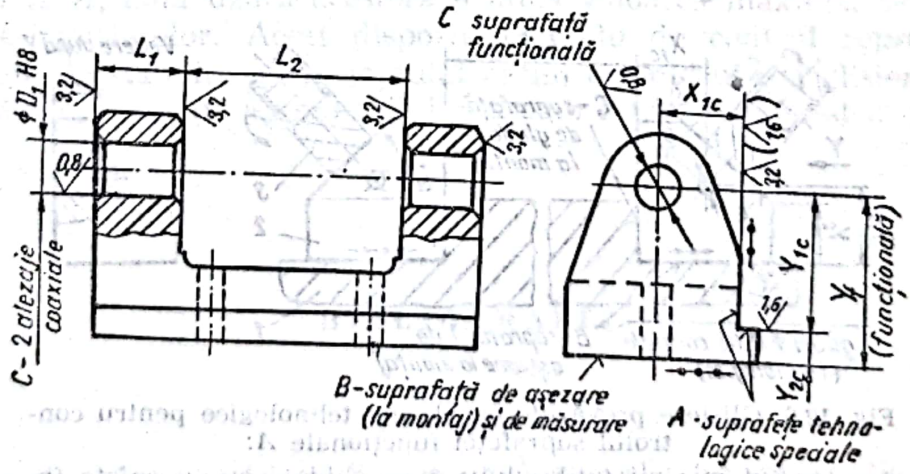


Fig. 12.4. Suport prevăzut cu suprafețe tehnologice speciale de control.

Pentru verificarea excentricității *e* cît și a uzurii diametrelor $\varnothing d_1$ $\varnothing d_2$ și a alezajului funcțional $\varnothing D^{+T_1}$ ale excentricului din fig. 12.5, sînt prevăzute alezajele tehnologice $\varnothing D_2^{H8}$, în care se montează capacele tehnologice *3* (poziționate prin alezajul tehnologic $\varnothing D_4^{H8}$), ce conțin găurile

Scanned with OKEN Scanner

de centrare O_1 și O_2, necesare verificării sau prelucrării suprafețelor funcționale $\varnothing d_1$ și $\varnothing d_2$.

Pentru a verifica gradul de tasare al suprafețelor de montaj, dintre piesele *1* și *2* ale excentricului, sînt prevăzute alezajele tehnologice $\varnothing d_3^{H8}$ (ce definesc pentru fiecare parte cîte o dreaptă de ghidare) și cota de control a_c.

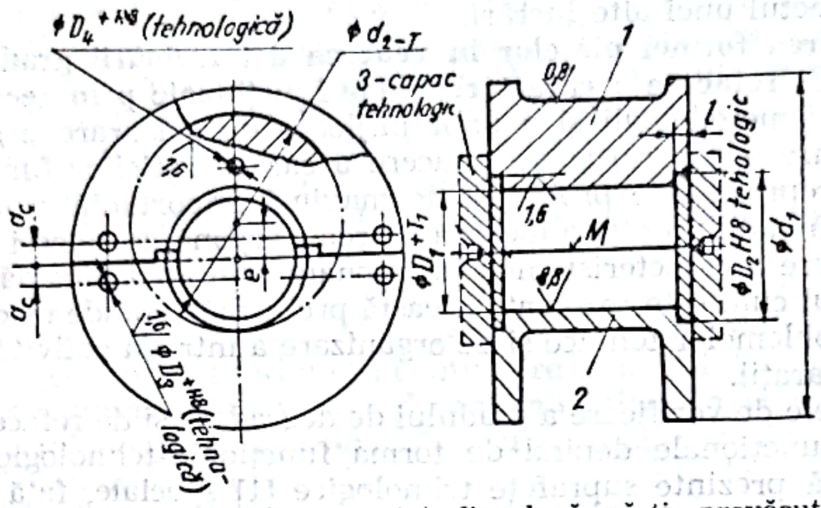


Fig. 12.5. Excentric, executat din două părți, prevăzut cu alezaje tehnologice speciale pentru verificare și recondiționare.

În fig. 12.6 se prezintă modalitatea de verificare a gradului de degradare și de recondiționare al suprafețelor funcționale înclinate *A* ale glisierelor montate, prin intermediul suprafețelor *B*, pe batiul mașinii. În acest sens sînt prevăzute alezajele tehnologice $\varnothing D_1^{H8}$ (poziționate față de *B* prin cotele tehnologice de control X_{1c} Y_{1c}) și cota de control a_c, stabilită în funcție de cota teoretică Y_2, ce nu poate fi măsurată (în practică) cu precizia necesară. Unghiul de înclinare α se verifică cu instrumente clasice.

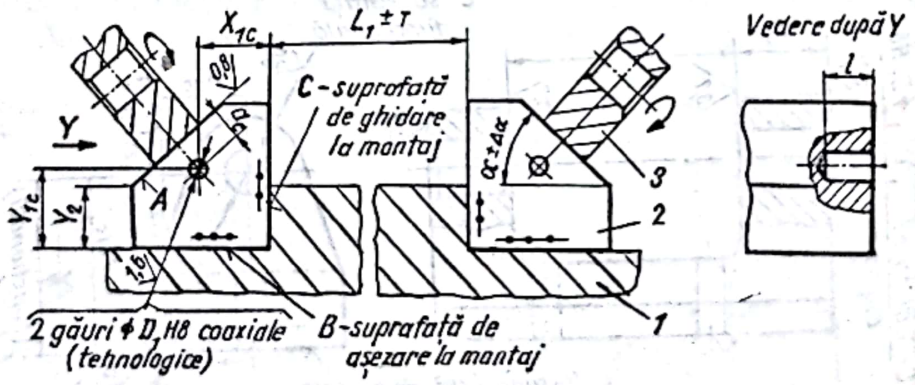


Fig. 12.6. Glisiere prevăzute cu alezaje tehnologice pentru controlul suprafeței funcționale *A*:
1 — batiul mașinii (utilajului); *2* — ghidaje cu suprafețe înclinate; *3* — role ce rulează pe ghidaj.

Modificările constructiv-tehnologice impuse piesei din punct de vedere al reparației asigură verificarea cu ușurință a poziției suprafeței *A* atît în timpul fabricării piesei noi cît și în timpul reparației.

Pentru glisiera de presă din fig. 12.7 sînt prezăzute de asemenea alezajele tehnologice $\varnothing D_1^{H8}$, ce sînt poziționate față de suprafețele de

montaj C prin cotele tehnologice X_1, X_2, Y_1, Y_2. În cazul acestei glisiere, alezajele tehnologice definesc cîte o dreaptă de ghidare I — I, față de care se stabilește poziția plăcii laterale de sprijin *2*, pe care se așază liniarul de control *3*. Cu ajutorul unui spion sau al unui șubler se verifică, pe utilaj, poziția suprafeței funcționale A (prin cota de control a_c), luînd ca suprafață de referință suprafața B a liniarului *3*.

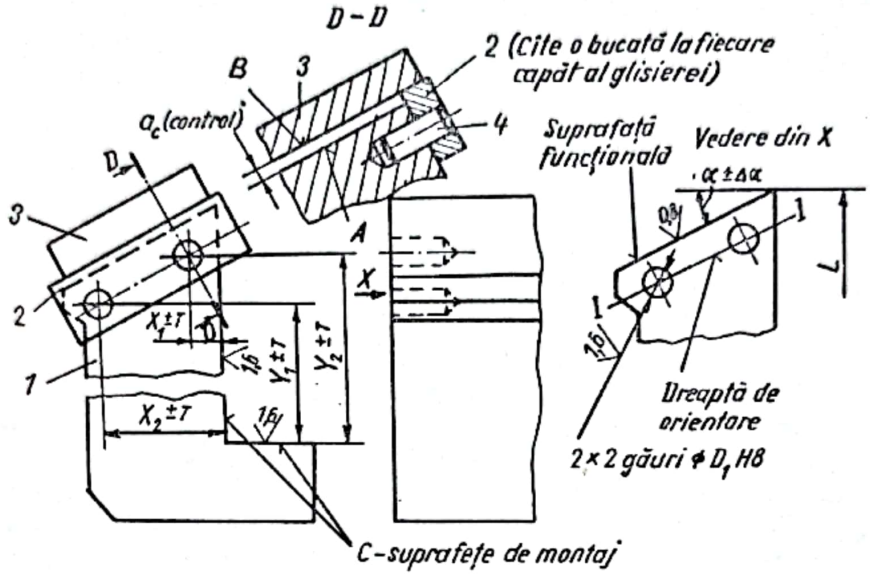


Fig. 12.7. Glisieră de presă prevăzută cu alezaje tehnologice de control al suprafeței funcționale:
1 — piesa; *2* — cală plan-paralelă; *3* — liniar de control; *4* — bolț de fixare.

Astfel se poate urmări evoluția gradului de uzură a suprafețelor funcționale A; cînd uzura acestora a atins valoarea maximă, se dispune înlocuirea glisierelor. Acest dispozitiv simplu de control reprezintă o modalitate de stabilire a momentului optim de înlocuire a glisierelor sau de intrare în reparație a unui utilaj, așa cum a fost menționat în pag. 150.

BIBLIOGRAFIE

1. BEJAN V. Tehnologia fabricării și reparării utilajelor tehnologice. Universitatea din Brașov. Vol. I (pag. 19—50) și vol. II (pag. 179—205), 1986.
2. BEJAN V., CONSTANTINESCU AL. Considerații privind determinarea momentului de intrare în reparații a mașinilor de îndesat prin scuturare. În: Noutăți în domeniul tehnologiilor și utilajelor pentru prelucrări la cald, vol. I, 12—13 februarie 1983. Brașov. (Sesiune științifică națională.)
3. GROSU V. ș.a. Întreținerea și repararea utilajelor siderurgice. București, Editura Tehnică, 1986, pag. 164—180.
4. RĂDOI N. ș.a. Recondiționarea pieselor. București, Editura Tehnică, 1986.

TM
CM

IV

MATERIALE. UTILIZARE, REFOLOSIRE, ÎNLOCUITORI

Scanned with OKEN Scanner

13.

Progrese în domeniul materialelor și tehnologiilor avansate — durabilitate, fiabilitate, asigurarea calității*)

Note de lectură

Dr. ing. *Alexandru Nica,*
Întreprinderea de Avioane București

A șasea conferință a secțiunii europene a „Societății pentru Ingineria Materialelor și Tehnologiilor Avansate" ce a avut loc în mai 1985 la Scheveningen, Olanda, a scos cu pregnanță în evidență extinderea utilizării în construcția de mașini în general, în aceea aerospațială în special, a materialelor avansate (compozite ranforsate cu fibre din carbon și organice, ceramică tehnică), ceea ce implică și noi tehnologii de fabricație, de asigurare și control a calității. Paleta metodelor și tehnicilor elaborate în acest scop este deosebit de largă, însumînd aspecte de concepție și proiectare impuse de obținerea produsului finit concomitent cu materialul, de necesitatea dezvoltării unor programe de calcul adecvate complexității lor structurale și funcționale, a unor tehnologii corespunzătoare pentru toate etapele de producție și verificare a calității. Nu este surprinzătoare în aceste condiții conturarea chiar a unor științe noi (de exemplu „materiotica" — știința proiectării materialelor), pe lîngă extinderea pe baze multi- și interdisciplinare (apelîndu-se în special la noile progrese înregistrate în fizică și chimie) a tehnicilor de verificare a parametrilor structurali și funcționali. Evaluarea acestora implică și elaborarea unor instrumente de lucru corespunzătoare de ordin matematic, în special pe baze statistice și probabiliste, atît în interpretarea rezultatelor controlului de calitate, cît și în alte domenii, de exemplu evaluarea caracteristicilor de rezistență ce stau la baza calculelor de proiectare.

În cele ce urmează sînt succint semnalate unele aspecte semnificative ale acestei tematici, în lumina comunicărilor prezentate la sesiunea științifică menționată, ținută sub auspiciile „Laboratorului Național Aerospațial" din Olanda.

Concepte actuale în proiectarea componentelor din materiale compozite. Este de remarcat o metodă de calcul pentru caracteristicile de rezistență ale materialelor compozite, bazată pe repartiția Weibull, deoarece dispersia acestor valori este mai accentuată decît în cazul materialelor metalice, ce pot fi evaluate pe baza repartiției normale, mai simplă, dar mai puțin elastică pentru a putea corespunde noilor cerințe. Pentru materialele studiate (două compozite fibre de carbon/matriec epoxidică și unul de tipul fibreglas cu rășini epoxidice) se stabilesc valori de rezistență pentru două niveluri de fiabilitate: nivelul A, ce asigură pentru 99% din populație o repetabilitate de 95% a caracteristicilor și nivelul B, ce asigură

* "Progress in Advanced Materials and Processes — Durability, Reliability and Quality Control" — Editori, G. Bartelds și R. I. Schliekelmann, Amsterdam, Elsevier, 1985 (nr. 29 al colecției monografii din „Știința Materialelor").

Scanned with OKEN Scanner

doar pentru 90% din populație repetabilitatea de 95%. Cu titlu de exemplu, se pot menționa valori admisibile la întindere de 400 și 630 MPa pentru materialele pe bază de fibre de carbon în ipoteza A, respectiv 500 și 740 MPa în ipoteza B, iar pentru materialul de tipul fibreglas valorile sînt: 1 390 MPa în ipoteza A și 1 520 MPa în ipoteza B; modulul de elasticitate longitudinal E prezintă valori, pentru materialele în ordinea menționată, de 250, 265 și 47 GPa în ipoteza A, respectiv 270, 290 și 50 GPa în ipoteza B.

O altă investigație, privind de această dată modificarea proprietăților de rezistență ale fibrelor tubulare din carbură de siliciu (SiC) de tipul Nicalon, în prezența aluminiului topit (situație ce apare în procesul de fabricare a materialului compozit constînd din aluminiu ranforsat cu astfel de fibre), a pus în evidență valabilitatea conceptului *verigii celei mai slabe în procesul de rupere*, concretizat printr-o relație privind variația rezistenței obținută cu ajutorul repartiției Weibull și avînd forma

$$F(\sigma)=1-\exp[-(V/V_0)(\sigma/\sigma_0)^m],$$

în care σ_0 este valoarea de referință, V — volumul (suprafața) materialului, V_0 — volumul (suprafața) de referință, iar m — coeficientul de formă; este de remarcat că această relație este identică cu aceea prezentată într-o lucrare anterioară* și elaborată de asemenea pentru evaluarea rezistenței materialului în zonele de suprafață. În cazul fibrelor Nicalon, valorile nominale de rezistență sînt: $\sigma_0=3\,500$ MPa, $E=175\ldots200$ GPa.

Adaptarea modalităților de proiectare la materialele avansate se ilustrează și în noile concepte privind elaborarea pieselor în mișcare pentru motoarele de automobil. Astfel, plecîndu-se de la premiza unei scăderi substanțiale a forțelor masice pentru piesele cu mișcări de rotație și translație, ceea ce ar antrena avantaje capabile să compenseze costul mai ridicat al materialelor compozite în raport cu acelea metalice, Volkswgen a construit un motor de 1 600 cm^3, de tipul MAS, cu o putere nominală de 55 kW, avînd bielele din compozite pe bază de fibră de carbon de tipul ENKA, la care s-au integrat lagăre din aluminiu, pentru a se păstra greutatea la o valoare cît mai redusă, respectiv 50 . . . 60% din aceea a bielelor metalice. Necesitatea elaborării unor metode cît mai simple de fabricație, în esență bazate pe procedee de laminare, a condus la reproiectarea întregului ambielaj, ceea ce a permis și extinderea acestei soluții la toate variantele de motoare din această categorie. Nu au dat încă satisfacție (slabă rezistență la oboseală) bolțurile de piston din compozite într-un înveliș metalic.

Asigurarea calității în cazul folosirii materialelor avansate. După cum s-a menționat, caracteristicile structurale și funcționale ale materialelor compozite și ceramice, diferite față de acelea prezentate de materialele metalice, la care se adaugă și posibilitatea obținerii produsului finit concomitent cu materialul respectiv, au pus probleme noi pentru multiplele și complexele activități legate de asigurarea calității.

Unul dintre aspectele deloc neglijabile este acela al costului activităților menționate; s-a constatat astfel că asigurarea calității, pentru a fi eficientă, comportă următoarele etape:

a) teste la furnizorul materiilor prime;

* v. „Mechanics of Aerospace Materials", de Alex. Nica, Amsterdam, Elsevier, 1981 (Materials Science Monographs, 9).

Scanned with OKEN Scanner

b) teste la uzinele constructoare;
c) teste ale produsului finit.

S-a propus în consecință fuziunea testelor, controlului și încercărilor de la punctele a și b, putîndu-se remarca suprapuneri evidente; în acest scop se utilizează metode probabiliste, capabile să indice pînă la ce nivel se pot reduce repetările, fără deformarea imaginii asupra calității produselor ce sînt supuse controlului. S-au putut obține substanțiale reduceri ale costurilor legate de asigurarea calității, capitol cu pondere deosebit de ridicată în utilizarea materialelor și tehnologiilor avansate, ce necesită în medie un controlor de calitate la trei operatori care lucrează efectiv în procesul de producție!

Reflectarea proprietăților materialelor avansate asupra activității de asigurare a calității rezultă în primul rînd din diferențele fundamentale de comportament față de materialele metalice clasice. În timp ce la materialele metalice dezvoltarea microfisurilor urmează o curbă exponențială dincolo de valoarea detectabilă a dimensiunii semnificative, deci ușor de urmărit între două intervale consecutive de inspecție, la materialele compozite microfisura produsă de o suprasarcină sau șoc *nu își modifică dimensiunile în timp,* putînd rămîne sub valoarea detectabilă; totodată, rezistența reziduală suferă o scădere bruscă la materialele compozite, după care rămîne constantă, în timp ce la metale scăderea este treptată, urmînd o evoluție inversă față de aceea reprezentînd dezvoltarea fisurii. Apare deci o problemă care este în atenția cercetătorilor preocupați cu dezvoltarea unor noi categorii de materiale compozite, și anume mărirea tenacității acestora la rupere, în prezent inferioară de obicei materialelor metalice. Din punctul de vedere al asigurării calității, inclusiv al metodelor de control, s-a impus evident necesitatea găsirii unor soluții care să înlăture dezavantajul unei dispersii relativ mari a rezultatelor privind comportarea materialelor compozite față de aceea a metalelor; s-a propus astfel înființarea unor „bănci de date" capabile să furnizeze informațiile necesare privind caracteristicile funcționale ale acestora (în special de rezistență), așa cum utilizarea programelor de calcul bazate pe metoda diferențelor finite a permis acum două decenii caracterizarea cu un grad ridicat de precizie a comportării materialelor metalice.

Trebuie subliniat faptul că s-au și elaborat norme speciale pentru materialele compozite utilizate în construcția avioanelor civile (de ex. norma FAA AC.107 A) derivate din acelea elaborate pentru structurile metalice.

Un alt element semnificativ în dezvoltarea metodelor și tehnicilor de asigurare a calității constă în tendința tot mai accentuată de *automatizare a operațiunilor de control,* în special a metodelor de control defectoscopic nedistructiv (NDT). Apariția acestor tehnici este legată de extinderea metodelor de asamblare prin lipire cu adezivi sintetici, ceea ce a permis imprimarea unui grad ridicat de automatizare și robotizare a tehnologiilor de fabricație în general, celor de control defectoscopic în particular. Astfel, s-a generalizat folosirea utilajului Fokker bondtester realizat pe principiul măsurării vibrațiilor induse în îmbinarea lipită adeziv cu ajutorul unui traductor piezoelectric, perturbațiile în regimul vibratoriu indicînd prezența unor defecte. Alte utilaje susceptibile de automatizarea operațiunilor de control NDT, în complectarea celui amintit, constau din controlul ultrasonic tridimensional cu ajutorul unei instalații Meccasonics C-scan, cuplată cu un calculator personal (de ex. de tipul IBM-XT) pentru verificarea compozitelor și holografia prin interferență.

Scanned with OKEN Scanner

Utilizarea ultimei metode (dezvoltată în cadrul Universității din Delft — Facultatea de Fizică) comportă următoarele etape: digitalizarea imaginii; normalizarea interferogramelor prin tehnici de filtrare neliniare, în care scop s-a elaborat un algoritm local de minim și maxim ce permite reglarea contrastului imaginii; schematizarea imaginii (algoritmi corespunzători permit determinarea exactă a franjelor); stabilirea succesiunii franjelor; calculul deplasărilor (obținute prin deformări termice și localizarea eventualelor defecte). Sistemul de analiză a imaginii se implementează într-unul computerizat, de putere medie.

Elementele de asigurare a calității specifice dezvoltării unui nou material compozit (de ex. materiale de tipul „arall", obținute prin ranforsarea laminatelor de aluminiu cu fibre aramidice, deci de natură organică) se pot sintetiza astfel: controlul materialelor componente (fibre organice, rășina matricei, primerul, adezivul, foliile metalice) și al materialului compozit rezultat; controlul proceselor tehnologice (anodizare, impregnare, tratament termic, pretensionare).

Controlul fibrelor se face prin solicitări la întindere unidirecțională sub diverse unghiuri, la încovoiere și forfecare.

Controlul rășinii și a prepregului comportă două categorii de teste:

a. *Analitice:* cromatografie de înaltă performanță pentru starea lichidă; cromatografie de permeabilitate în stare gel; analiză în infraroșu cu transformată Fourier; calorimetrie diferențială scanning.

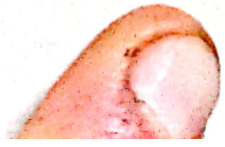
b. *Fizice:* raportul greutate/suprafață; conținut de substanțe volatile; timpul de gelificare; forfecare la temperatura camerei și la 82°C (180°F), modulul de elasticitate și rezistența la întindere etc.

Din punctul de vedere al caracteristicilor de rezistență, materialul obținut prezintă următoarele valori în comparație cu aluminiul neranforsat:

Caracteristica	Arall-Delft	Arall Alcoa/3M	Al 2024-T3	Al 7075-T6
σ_r, MPa	735	765	470	570
σ_c, MPa	635	593	360	510
E, GPa	69	68	72	72
Densitatea, kg/dm³	2,45	2,35	2,80	2,80

La materialele dezvoltate pentru fabricarea cupolelor radar (s-a trecut de la rășinile poliesterice ce rezistau pînă la 80°C la rășini epoxidice posibil de utilizat pînă la 200°C, necesare avioanelor supersonice) se impun în plus și testele privind filtrarea și distorsionarea microundelor.

Pentru reperele de mari dimensiuni, obținute prin lipire adezivă, sînt necesare tehnici de control capabile să inspecteze mari suprafețe de material într-un timp cît mai scurt posibil; pe lîngă acelea amintite mai înainte (de ex. Fokker bondtester) și rezervate de obicei zonelor de solicitări maxime sau mai greu accesibile, s-au realizat în consecință și utilaje îndeplinind condiția amintită. Astfel, pentru controlul panourilor de fuzelaj ale aeronavei turbopropulsoare scurt curier Saab Fairchild 340 (din clasa aeronavelor An-24 în exploatarea TAROM) avînd dimensiuni pînă la 9,5×2,5 m, se folosește o instalație ultrasonică cu impuls transmis și o frecvență de 5 MHz complet automatizată, capabilă să controleze un astfel de panou în circa șase ore.



Scanned with OKEN Scanner

O altă categorie de metode și tehnici de control specifice materialelor compozite avansate comportă și aspecte de ordin chimic și rezultă din faptul că elementele primare ale acestor materiale (fibre, rășini ale matricelor, adezivi etc.) se obțin prin procedee chimice, inclusiv sinteză, sau sînt supuse ulterior la tratamente chimice de mare finețe. Rezultă necesitatea dezvoltării unor tehnici adecvate de control pentru toate etapele de elaborare, de ex. a fibrelor de carbon: carbonizare, oxidare, operațiuni de acoperire. Metodele concepute și realizate în acest scop se pot grupa astfel:

a. *Fizico-chimice*: tehnici bazate pe adsorbție-desorbție de gaz (de ex. azot) pentru caracterizarea topografiei suprafeței fibrei și activității sale chimice, de care depinde posibilitatea de udare a sa de către rășina matricei, deci posibilitatea de realizare a materialului compozit.

b. *Spectroscopie de suprafață:* natura chimică a suprafeței fibrei după oxidarea în fază lichidă sau gazoasă, de obicei electrolitică (operațiune ce conduce la îmbunătățirea aderenței față de materialul matricei), prin microscopie electronică secundară (SEM) și spectroscopie fotoelectronică în raze X (XPS); tratamentele superficiale și acoperirile se analizează prin spectroscopie în infraroșu cu transformată Fourier (FT-IR).

Fenomenele fizico-mecanice la nivel microscopic (de ex. amorsele de microfisuri în fibre sau în îmbinările adezive) se cercetează cu ajutorul fractrografiei bazate pe microscopie electronică scanning; cu ajutorul acestor metode se întrevede posibilitatea elaborării unei teorii unitare asupra comportării îmbinărilor adezive ce înlocuiesc îmbinările nituite sau sudate.

Tehnici de evaluare a durabilității și fiabilității materialelor avansate. Mărirea perioadei de utilizare a unui produs, în condiții de siguranță a exploatării, constituie un deziderat comun pentru majoritatea produselor realizate de industria construcțiilor de mașini. Produsele realizate pe baza materialelor avansate și a tehnologiilor aferente s-au remarcat și printr-o spectaculară majorare a perioadei de utilizare, față de acelea obținute cu materialele și tehnologiile clasice, în condiții de micșorare a riscului de defectare, deci cu o fiabilitate sporită. De ex. o aeronavă turbopropulsoare mediu curier realizată din materiale compozite asamblate prin lipire adezivă poate depăși 100 000 h de zbor, pe cînd, în varianta metalică, resursa tehnică totală nu depășea 35 000 h de zbor.

Se pune desigur problema mijloacelor de evaluare a posibilității de utilizare îndelungată, ceea ce implică elaborarea unor metode și tehnici adecvate investigării acestor aspecte. Multitudinea aspectelor prezentate de această problemă explică și diversitatea soluțiilor utilizate, precum și caracterul lor multi- și interdisciplinar: se face un larg apel la elemente de fizică, chimie, se dezvoltă instrumente matematice specifice (de ex. pentru estimarea pe baze probabiliste a caracteristicilor funcționale ale noilor materiale, amintite în prima parte a prezentării de față).

Mecanismele chimice ale îmbinărilor adezive au fost investigate cu deosebită atenție, deoarece condiționează direct durabilitatea și fiabilitatea acestora; în vederea îmbunătățirii reproductibilității rezultatelor, s-au estimat în detaliu influențele exercitate de factorii externi (parametrii fizico-chimici ai proceselor tehnologice sau ai mediului înconjurător — umiditate, variații de temperatură, prezența diverșilor contaminanți) deoarece unii dintre aceștia pot influența în mod decisiv integritatea funcțională a acestui tip de îmbinare. Astfel, în cazul îmbinării adezive a componentelor din aluminiu, s-au investigat fenomenele speci-

Scanned with OKEN Scanner

fice de îmbătrînire, coroziune, influența compoziției chimice a băilor de săruri necesare diferitelor operațiuni tehnologice etc.

O problemă stringentă care s-a pus în momentul dării în exploatare a primelor componente majore (caroserii pentru autovehicule, carcase pentru ambarcațiuni, elemente structurale pentru aeronave) realizate din materiale compozite a fost aceea a comportării lor în timp, și anume rezistența la oboseală și la efectele corosive induse de către factorii de mediu. Evident, estimările de laborator (de regulă foarte optimiste) nu puteau fi verificate decît prin exploatare efectivă, un timp suficient de îndelungat, pentru ca rezultatele să fie într-adevăr concludente. În prezent, această condiție începe să fie îndeplinită, programele deosebit de minuțioase elaborate pentru studierea componentelor de aeronave (de departe aspectul cel mai delicat în contextul menționat) permițînd tragerea unor concluzii edificatoare după o perioadă de exploatare suficient de îndelungată. Astfel, după cinci ani de serviciu, elemente structurale de aeronavă din compozite pe bază de fibre de carbon, ce au înlocuit componentele similare metalice, și-au dovedit buna rezistență mecanică și la coroziune, inclusiv o slabă absorbție de umiditate; este de remarcat faptul că uzura foarte redusă, ca rezultat al utilizării, s-a produs în primele luni de serviciu, după care a încetat să se evidențieze orice urmă de uzură pentru restul perioadei amintite.

Cerințe cu totul deosebite privitoare la durabilitatea și fiabilitatea componentelor sînt specifice sateliților și navelor spațiale, în special pentru învelișul aparaturii și utilajelor exploatate în spațiu, care trebuie să asigure o protecție eficientă și de lungă durată față de factorii atmosferici, încălzirea aerodinamică, expunerea la radiații etc.; pentru sateliții plasați pe orbită circumterestră cu ajutorul lansatoarelor de tipul „Ariane", ansamblul protector este constituit dintr-o structură sandwich conținînd o umplutură fagure din aluminiu perforat, cu învelișuri din compozite combinate fibre de carbon — fibre de sticlă în rășini epoxidice, inclusiv un con ceramic pentru protecția termică.

Durabilitatea acoperirilor de protecție pentru aeronave a fost considerabil sporită prin utilizarea în ultimile două decenii a vopselelor poliuretanice, metodă susceptibilă să conducă la rezultate similare și în cazul folosirii la alte tipuri de mijloace de transport, atunci cînd condițiile de mediu impun această soluție.

Progrese în elaborarea materialelor compozite avansate. Căile urmate în dezvoltarea materialelor compozite avansate se referă la: elaborarea unor noi categorii de fibre necesare ranforsării materialelor, cu proprietăți de rezistență mecanică și la coroziune sporite, cu o mai mare capacitate de a se opune dezvoltării fisurilor (o deficiență recunoscută a materialelor compozite constă tocmai în tenacitatea încă inferioară metalelor, pentru majoritatea cazurilor); elaborarea unor materiale pentru matrice capabile să reziste la temperaturi ridicate și la șocuri mecanice, în paralel cu producerea de rășini termoplaste care să permită folosirea unor metode de elaborare mai simple și mai economice decît în cazul rășinilor termorigide utilizate aproape în exclusivitate pînă în prezent; în fine, dezvoltarea unor tehnologii de fabricație a produsului final, cu eficiență sporită.

Categoriile de fibre nou dezvoltate cuprind atît materiale ceramice (fibre de carbon, carbură de siliciu etc.), cît și organice (se remarcă dezvoltarea fibrelor aramidice, cunoscute sub denumirea comercială de Kevlar).

Scanned with OKEN Scanner

Fibrele de carbon înregistrează progrese sub raportul creşterii rezistenţei mecanice, în special la întindere, în condiţiile unor valori moderate pentru modulul de elasticitate ($E \approx 300$ GPa), rămînînd însă o distanţă încă foarte mare faţă de aliajele de aluminiu în privinţa comportării la sarcinile dinamice; valorile caracteristice pentru un nou tip de fibre (Torayca T800) şi pentru materialele compozite obţinute sînt date în tabelul 13.1 comparativ cu varianta anterioară de fibră (T300) şi cu un aliaj de aluminiu.

Tabelul 13.1

Fibre/material / Caracteristici	T800	T300	Compozit fără crestătură	Compozit cu crestătură	Aluminiu 7075
Rezistenţă la întindere, σ_r, MPa	2 940	1 700	820 (fibre T800) 554 (fibre T300)	660 (fibre T800) 323 (fibre T300)	540 (fără crestăt.) 460 (cu crestătură)
Rezistenţă la compresiune, σ_r, MPa	1 570	1 560	660 (fibre T800) 660 (fibre T300)	350 (fibre T800) 350 (fibre T300)	440 (fără crestăt.) 440 (cu crestătură)
Rezistenţă la impact:			*Compozit cu T800:*	*Compozit cu T300:*	
— forţa de penetrare a unei folii cu o grosime de 1,67 ... 1,70 mm, în N	—	—	440	190	485
— energia de penetrare, J/cm			95	100	370

Fibrele din carbură de siliciu nou obţinute se remarcă prin valori ale rezistenţei mecanice comparabile cu cele ale oţelurilor aliate, dar cu păstrarea lor pînă la temperaturi apropiate de 1 000°C, inclusiv o remarcabilă rezistenţă la coroziune.

Fibrele organice din răşini aramidice au fost dezvoltate în noi variante, pentru a corespunde exigenţelor severe întîlnite în cazul vaselor şi tuburilor sub presiune, precum şi la carcasele motoarelor rachetă. Caracteristicile de rezistenţă ale materialelor compozite bazate pe acest tip de fibră depind nu numai de proprietăţile fibrei însăşi, ci şi de măsura în care este posibil transferul acestor proprietăţi la matrice, deci la întregul material. Astfel, fibrele aramidice Kevlar produse anterior pentru carcasele motoarelor rachetă, deşi aveau o rezistenţă la cedarea sub presiune de aproape 4 GPa, materialul compozit obţinut nu depăşea în aceleaşi condiţii 2,5 GPa, deci transferul de rezistenţă era doar de aproximativ 66%. Noile fibre se caracterizează printr-o rezistenţă superioară cu 10%, dar în condiţiile unui transfer mărit cu 30%, datorită unei mai bune aderente dintre fibră şi materialul matricei. Această ultimă îmbunătăţire s-a realizat printr-un studiu atent al fenomenului de aderiune, renunţîndu-se totodată la soluţiile anterioare constînd fie din utilizarea unei răşini uşor deformabile, fie a unui lubrifiant (de exemplu

Scanned with OKEN Scanner

un ulei siliconic) între fibre şi matrice, pentru ca fibrele să se poată orienta după direcţiile solicitărilor maxime, dat fiind că ambele soluţii prezintă dezavantaje. Noul procedeu constă din modificarea contactului dintre fibre şi matrice, prin varierea conţinutului de răşină, în vederea obţinerii unei valori optime pentru adeziunea dintre cele două componente ale materialului compozit, astfel ca fibrele să aibă un suficient grad de libertate pentru preluarea eforturilor, fără a se scădea rezistenţa ansamblului prin utilizarea unei răşini uşor deformabile şi fără riscurile prezentate de acumulările de lubrifiant. Compozitele obţinute cu noile fibre (de tipul T981) sînt astfel superioare din punctul de vedere al tenacităţii oricărei alte variante: dezvoltarea fisurilor necesită o energie de zece ori mai mare decît în cazul utilizării fibrelor de grafit şi de două ori mai mare decît în cazul fibrelor aramidice Kevlar produse anterior (tipul T969).

Materialele pentru matrice au fost de asemenea investigate şi dezvoltate pe mai multe direcţii: noi categorii de răşini termorigide, producerea de răşini termoplaste pentru materialele compozite, reducerea influenţelor nocive ale factorilor de mediu (de exemplu umiditatea).

Materialele plastice termorigide de tipul răşinilor epoxidice, de exemplu, sînt studiate în special din punctul de vedere al îmbunătăţirii rezistenţei lor la temperatură; un concurent din acest punct de vedere apărut în prezent îl constituie materialele sticloase pentru matrice, cum ar fi borosilicaţii şi răşinile de tipul poliimidelor de bismut.

Materialele termoplaste nou elaborate se impun ca materiale pentru matrice atît din considerente funcţionale, cît şi de ordin tehnologic, deoarece permit obţinerea unor materiale cu o largă utilizare la mijloacele de transport aeriene, terestre şi maritime, precum şi la numeroase alte construcţii mecanice, prin metode de fabricaţie mai simple şi mai ieftine decît în cazul utilizării răşinilor termorigide. În evoluţia compozitelor obţinute cu ajutorul răşinilor termoplaste se pot distinge trei etape, şi anume:

a. Materialele din prima generaţie, constînd din termoplaste injectate în care se introduce tocătură din fibre de sticlă sau carbon, cu lungimi de 1,5 mm, obţinîndu-se astfel o ameliorare semnificativă a proprietăţilor de rezistenţă, faţă de răşina pură.

b. Materialele din a doua generaţie, obţinute din ţesături de fibre organice şi anorganice dispuse oricum, obţinîndu-se materiale de tipul textolit sau diverse variante de fibreglas.

c. În prezent se remarcă apariţia celei de-a treia generaţie, caracterizată prin folosirea fibrelor continue şi a unor răşini de diverse categorii, unele cu totul noi; compoziţia şi caracteristicile acestor răşini termoplaste sînt date succint în tabelul 13.2, în comparaţie cu răşinile termorigide epoxidice.

Deoarece termoplastele au un grad ridicat de izotropie, modulul de elasticitate transversal G este legat de acela longitudinal E prin intermediul coeficientului lui Poisson, ν:

$$G=E/[2(1+\nu)].$$

Dintre caracteristicile funcţionale şi tehnologice se mai pot remarca:

— termoplastele prezintă în general o slabă rezistenţă la fluaj;

— eterketonele polieterice sînt cristaline şi rezistă foarte bine la acţiunea solvenţilor, dar trebuie acordată o atenţie deosebită respectării gradienţilor de temperatură necesari pentru elaborare şi tratamente;

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 13.2

Proprietăți \ Rășini	Epoxidice	Nailon 6	Nailon 12	PC	PEI	PES	PEEK
Densitatea	1,30	1,12	1,02	1,20	1,27	1,37	1,32
Limita de curgere, MPa	51	—	—	60	105	84	100
Alungirea la curgere, %	1,4	18	—	6 . . . 8	7 . . . 8	—	—
Alungirea la rupere, %	1,4	280	—	100	60	100	—
Modulul de elasticitate longitudinal, MPa	4 000	—	—	2 300	3 000	—	—
Modulul de elasticitate încovoiere, MPa	4 100	1 920	1 300	2 500	3 300	2 600	3 800
Rezistența la încovoiere, MPa	110	83	51	100	145	130	—
Temperatura de utilizare constantă, °C	160	—	—	130	170	180	25

S-au utilizat notațiile: PC — policarbonați; PEI — imide polieterice; PES — sulfonați polieterici; PEEK — eterketone polieterice.

— policarbonații și imidele polieterice, dimpotrivă, sînt solubile și pot fi impregnate cu solvenți, în vederea reducerii viscozității foarte ridicate, în timpul operațiunilor de elaborare a materialului compozit.

Cu ajutorul acestor rășini termoplaste se pot obține materiale compozite pe bază de fibre de carbon sau aramidice, sursele de încălzire putînd fi de diverse naturi: aer fierbinte, prin inducție, radiații în infraroșu, role sau plăci fierbinți; în general tehnologiile de prelucrare sînt asemănătoare celor utilizate în laminarea metalelor.

Un element cu semnificații economice de loc neglijabile constă în posibilitatea de reutilizare între anumite limite a rășinilor termoplaste, pe cînd termorigidele nu permit permit această operațiune.

Utilizarea compozitelor cu matrice termoplastă cunoaște deja o răspîndire semnificativă, mai ales pentru componentele de autovehicule și în industria medicală.

Alte aspecte. *Influența factorilor de mediu* asupra comportării materialelor compozite a fost analizată în detaliu, cu precădere din punctul de vedere al modificărilor survenite în proprietățile fizico-mecanice, ca rezultat al impregnării cu apă și al regimului termic aplicat în timpul tratamentelor. S-a constatat astfel că rășinile de bismut nu prezintă o temperatură de vitrificare bine stabilită, acest fenomen avînd loc pe un interval de temperaturi ce se extinde cu conținutul de umiditate și care influențează în mod semnificativ proprităților de rezistență, în sensul deteriorării acestora, în special în cazul compozitelor pe bază de fibre de carbon. Dată fiind importanța modificărilor suferite de către proprietățile rășinilor (în special termorigide) în timpul proceselor de elaborare, cînd se face trecerea de la starea lichidă la aceea sticloasă, caracterizată prin legături intermoleculare complexe, s-au dezvoltat tehnici de analiză a parametrilor de comportament reologic în funcție de temperatură, de ex. a coeficienților de rigiditate.

Scanned with OKEN Scanner

Noile aspecte tehnologice privind obținerea de materiale și componente compozite sînt de asemenea multiple; se pot aminti dintre acestea eforturile îndreptate spre mărirea tenacității compozitelor, noi procedee de obținere a benzilor magnetice din materiale compozite, extinderea procedeelor de obținere a diverse componente și repere prin tehnici de injectare.

Mărirea tenacității structurilor compozite se realizează, după cum s-a amintit, prin tehnologii ce permit diversificarea straturilor matricei dintre fibrele anorganice componente ale materialului compozit, prin adăugarea unor pelicule dintr-o rășină cu tenacitate ridicată, reducîndu-se fragilitatea întregii structuri; astfel de materiale polimaticeale prezintă o rezistență dublă la propagarea fisurilor, în comparație cu materialele realizate printr-un sistem matriceal simplu.

Benzile din fibre unidirecționale se obțin în prezent cu mașini automate lucrînd în două etape: prepararea materialului ce se depune pe suport și depunerea propriu-zisă — evitîndu-se întreruperile datorate forfecării materialului și obținîndu-se un ritm ridicat al producției; un alt avantaj al noului procedeu ce înlocuiește pe acela manual, constă din posibilitatea utilizării oricărui tip de fibră, organică sau anorganică.

Procedeele tehnologice prin injectare sînt utilizate pe o scară tot mai largă, datorită pe de o parte pătrunderii rășinilor termoplaste în fabricarea materialelor compozite, iar pe de altă parte avantajelor semnificative din punct de vedere economic și al preciziei dimensionale a pieselor obținute.

Procedeele de injectare în matrițe închise pot fi luate în considerare pentru orice rășină (chiar și termorigide) cu o vîscozitate suficient de redusă în stare fluidă, pentru intervalul de timp necesar procesului tehnologic; în această categorie se găsesc rășinile fenolice, poliesterii, esterii vinilici, imidele de bismut și cele epoxidice.

Gama de fibre pentru acest procedeu este de asemenea foarte largă, atît din punctul de vedere al naturii chimice (organice și anorganice), cît și structural: s-au folosit fibre unidirecționale, țesături bi- și tridimensionale.

Din punctul de vedere al proiectării, tehnicile obișnuite de analiză a eforturilor cu ajutorul programelor bazate pe diferențe finite sau alte procedee utilizate în cazul compozitelor sînt întrutotul satisfăcătoare.

Printre numeroasele aplicații este de remarcat realizarea prin acest procedeu tehnologic a componentelor principale (carcasă, volantă etc.) cu mase pînă la 40 kg ale unui acumulator inerțial de energie.

Concluzii. Crearea „Societății pentru Ingineria Materialelor și a Tehnologiilor Avansate", a cărei secțiune europeană organizează anual conferințe începînd cu anul 1980, demonstrează importanța pătrunderii pe scară mai largă, în diverse domenii, a unor noi categorii de materiale, rezultat al progresului științific multidisciplinar, cu consecințe decisive, atît imediat, cît și în perspectivă, asupra progresului tehnologic și eficienței economice a produselor obținute. Un loc aparte îl dețin materialele compozite pe bază de fibre organice sau ceramice, dezvoltarea ultimei categorii de materiale fiind puternic stimulată de cerințele industriei aerospațiale, dar nu în exclusivitate: primele aplicații ale materialelor de tipul fibreglas au fost caroseriile vehiculelor de teren. În prezent asistăm la un masiv transfer tehnologic de la industria aerospațială la celelalte ramuri ale construcției de mașini precum și la alte sectoare de producție (medicală, casnică, articole de sport).

Scanned with OKEN Scanner

14.
Ceramica în materialele compozite*)

Kalinovici, D. F.
Kuznețova, L. I.
Denicenko, E. T.

Utilizarea materialelor compozite permite în măsură însemnată să se crească rezistența la rupere, duritatea, rezistența la șoc a multor piese. Armarea aliajelor cu fibre ceramice sau incluziuni ceramice disperse permite creșterea de 2...3 ori a modulului de elasticitate al acestora fără creșterea masei. Proprietățile materialelor compozite pot să se schimbe în limite largi, în funcție de conținutul de adaosuri, de forma, dimensiunile și orientarea lor și de tehnologia de obținere a compozitului. Aceasta dă posibilitatea să se obțină materiale cu proprietăți dinainte stabilite pentru fiecare anumită destinație.

În calitate de matrice metalică înainte de toate se folosesc Al, Mg, Ti, Ni, Co sau aliajele lor. Cele mai înalte rezistență specifică (pînă la 600 MPa/(g.cm^{-3}) și modul specific de elasticitate (pînă la 100 GPa/(g.cm^{-3}) se obțin la armarea aluminiului cu monocristale de carbură de siliciu, depuse din fază gazoasă pe sîrmă de carbon sau wolfram. Totuși, costul acestui material este suficient de înalt (1 300 dolari/kg) [1]. Unul din cele mai importante domenii de utilizare a materialelor compozite cu matrice metalică este construcția aparatelor de zbor, deoarece se atinge o scădere însemnată a masei acestora. Materialele compozite se utilizează de asemenea în construcția de mașini, de nave, în producția electrotehnică și electronică, în energetică, construcții, transporturi.

Materiale cu matrice din Al sau Mg armate cu fibre din oxid de aluminiu, produse de firma Fiber FP „E.I. du Pont de Nemours" (S.U.A.), în proporție de 35...50% de masă au duritate de 3...4 ori mai mare, rezistență la oboseală de patru ori mai mare și refractaritate mai înaltă decît cele nearmate. Compozitele pe bază de Al cu aceste fibre se folosesc pentru executarea bielelor motoarelor de automobil. Se mai pot utiliza la carcasa motoarelor cu reacție, la cutii de viteze, la piese în mișcare ale motoarelor și la plăcile acumulatoarelor acide [2]. În Japonia, Ministerele Producției și Comerțului exterior au întocmit un plan, pe perioada anilor 1981...1988, de elaborare a tehnologiilor de producție a compozitelor cu matrice metalică, în special pe bază de aluminiu și aliajele acestuia, armate cu fibre de carbură de siliciu, de carbon sau de bor.

Fibrele trebuie să aibă limita de rezistență la întindere R_m = =1 470 MPa (147 daN/mm^2), cu siguranță de 90%. Materialele compozite se obțin prin extrudare la cald sau laminare, extrudare izostatică la

* Traducere, prelucrată de prof. dr. ing. Laurentie Sofroni după articolul publicat în revista „Vestnic Maşinostroenia", nr. 3, 1989, p. 38—41.

Scanned with OKEN Scanner

cald [3]. La compozitele Japoneze marca SHAT din aliaje de Al cu fibre de SiC rezistența la oboseală se dublează. De obicei se folosesc mănunchiuri de 500 fibre cu diametru de 13 μm fiecare. La conținut de 25% fibre rezistența la rupere a compozitului, în direcția fibrelor, este de 676 MPa, la un conținut de 35% — 765 MPa, la 40% — 844 MPa [4].

Aliajele de aluminiu armate cu fibre filiforme de SiC au rezistența la rupere, în condiții de temperatură normală, de două ori mai mare ca a matricei [5]. Aluminiul armat cu fibre filiforme de SiC are R_m=800 MPa și E=150 GPa (15 000 daN/mm²) [6]. După datele lucrării [7] aliajele de aluminiu armate cu fibre de SiC au rezistența R_m=1 370 MPa. Compozite din Al armate cu fibre de oxid de aluminiu sînt folosite la firma „Toyota Motor" (Japonia) pentru producerea bielelor motoarelor de automobil, care sînt cu 35% mai ușoare ca cele din oțel, ajută la creșterea puterii motorului și la scăderea vibrațiilor [8]. Din aliaje de Al, armate cu fibre de oxid de aluminiu se execută pistoane de motoare diesel (firma „AE Developments"), diferite piese de elicopter („Westlands Helicopters"), paletele turbinelor cu gaz, elemente de construcție a avioanelor („Rols Royce"). Înalta rezistență și duritate a compozitelor permite scăderea masei pieselor cu pînă la 40% [9]. Limita de fluaj a compozitelor, care conțin 40% fibre de Al_2O_3 este de 14 ori mai mare ca cea a aliajelor de Al [10].

Aliajul de fier cu 25% Cr și 20% Ni, armat cu 62% fibre de Al_2O_3, 24% fibre de SiO_2 și 14% fibre B_2O_3 se utilizează pentru executarea rolelor de conveior folosite la cuptoarele de temperatură înaltă [11]. Aliajul Ti-Al-V cu monocristale de SiC se folosește pentru paletele turbinelor cu gaz, aliajul Mg-Al-Zn cu fibre de carbon-antenele sateliților pămîntului, aliajul Al-Si cu fibre de Al_2O_3-cuzinetii pistoanelor motoarelor diesel [1].

Compozitele COTAC produse de firma „ONERA" (Franța), formate din matrice de aliaj de nichel cu adaos de W, Co, Cr, Al, Nb, Mo, C și fibre de carbură de niobiu, se utilizează la palete și alte piese pentru turbine cu gaz [12]. Pentru paletele turbinelor rezistente la coroziune și refractare se utilizează compozite NITAC produse de forma „General Electric Co" (S.U.A.). Matricea este aliaj pe bază de nichel cu adaos de Co, Cr, W, Mo, Ti, Al, Sb, Zr, C, B, armată cu fibre de carbură de tantal [13].

Pentru preîntîmpinarea micșorării rezistenței fibrelor de C, Al_2O_3, SiO_2, B, CSi, datorită interacțiunii lor cu matricea din aliaj cu bază de aluminiu, Mg, Cu, Ni, Ti se recomandă alierea acesteia cu K, Cs, Rb, Sr, Bi sau In, în proporție de 0,005 ... 10%. Alierea crește rezistența compozitelor la încovoiere cu 30 ... 50% [14].

Limita de temperatură de lucru a compozitelor cu matricea metalică refractară este de 1 200°C. Creșterea în continuare a temperaturii de exploatare impune utilizarea unei matrice ceramice. Tenacitatea la rupere este a compozitelor tip ceramică — fibre ceramice substanțial crescută, datorită preîntîmpinării de către fibre a extinderii propagării fisurilor. În compozitul Al_2O_3—Al_2O_3, la conținut de 60% fibre Al_2O_3 coeficientul critic de intensitate a tensiunii K_{1c} se mărește cu 4 ... 12 MPa.m$^{1/2}$. Ca matrice se pot utiliza oxizi ai metalelor, C, carbură și nitrură de siliciu, iar ca fibre dioxid și carbură de siliciu, carbon, bor [15]. De perspectivă se consideră ceramica rezistentă la temperatură înaltă armată cu fibre de nitrură de siliciu [16].

Introducînd într-o matrice din nitrură de siliciu 30% masice fibre de carbură de siliciu cu diametru de 0,5 μm și lungime 50 ... 500 μm

Scanned with OKEN Scanner

rezistența compozitului la 1 300°C crește cu 60%. Energia de rupere a compozitului este de 2,5 ori mai înaltă ca a Si_3N_4 [17]. Compozitele cu matrice pe bază Si_3N_4, cu adaos de 6% Y_2O_3 și 1,5% Al_2O_3 și 10% fibre de SiC cu diametrul 0,53 μm și lungimea 17,5 μm, au $R_{incovoiere}$=773 MPa, K_{1c}=4,5 MPa.m$^{1/2}$; la conținut de 30% SiC — $R_{incovoiere}$=886 MPa, K_{1c}=6 MPa.m$^{1/2}$ [18]. Compozitele din oxid de aluminiu armate cu fibre de SiC au $R_{incovoiere}$=800 MPa, K_{1c}=8,7 MPa.m$^{1/2}$ [19]. Compozitele cu matrice din Al_2O_3 și fibre monocristaline de α SiC cu diametrul de 0,6 μm și lungime 10...80 μm în cantitate de 30%, obținute prin extrudare la cald, au densitate apropiată de cea teoretică și următoarele caracteristici: $R_{incovoiere}$=650 MPa, K_{1c}=9,5 MPa.m$^{1/2}$, E=380 GPa, coeficientul lui Poisson μ=0,22 [20]. Eficacitatea fibrelor cu care se armează compozitul este maximă la raport lungime/diametru al fibrelor de exemplu peste 50, la distribuție uniformă a fibrelor în matrice și la absența interacțiunii între matrice și fibre [21].

Fibrele ceramice se utilizează și la armarea matricelor de sticlă și de mase plastice poliamidice. Compozitele din sticle Li-Al cu fibre de SiC la 900°C au R_m=339 MPa, $R_{incovoiere}$=1 010 MPa [22]. Compozitul cu matrice poliamidică și fibre Nextel 312 (62% Al_2O_3, 24% SiO_2, 14% B_2O_3) posedă refractaritate pînă la 1 093°C [23].

La utilizarea compozitelor cu fibre orientate este necesar să se ia în considerare anizotropia proprietăților lor. Compozitele cu matrice de aluminiu și 50% fibre SiC au R_m=1 590 MPa în direcție perpendiculară [24]. Dacă fibrele sînt orientate haotic și dispers compozitul devine izotrop.

În tabelul 14.1 sînt date compoziția și proprietățile fibrelor în fabricația diferitelor firme și utilizate pentru armarea matricelor din car-

Tabelul 14.1 **Caracteristici ale fibrelor ceramice**

Numărul și marca fibrelor	Fabricantul	Compoziția chimică a fibrelor de masă	R_m MPa	E GPa	ρ g/cm^3	Diametrul μm
1. Nicalon	Nippon Carbon	59 Si, 31 C, 10 O	2 520—3 290	182—210	2,55	10—20
2. SCS-6	Avco	SiC cu miez de carbon	3 920	406	3	143
3. Nextel 312	3 M	62 Al_2O_3, 14 B_2O_3, 24 SiO_2	1 750	154	2,7	11
4. FP	Du Pont	>99 α·Al_2O_3	>1 400	385	3,9	20
5.	Sumitomo	85 Al_2O_3, 15 SiO_2	1 800—2 600	210—250	3,2	9—17
6. Tyranno	Ube	Si, Ti, C, O	>2 970	>200	2,3—2,5	8—10
7.	Avco	Si, C	>2 800	280—315	—	6—10
8. MPDZ	Dow Corning/ Celanese	47 Si, 30 C, 15 N, 8 O	1 750—2 100	175—210	2,3	10—15
9. HPZ	Dow Corning/ Celanese	59 Si, 10 C, 28 N, 3 O	2 100—2 450	140—175	2,35	10
10. MPS	Dow Corning/ Celanese	69 Si, 30 C, 1 O	1 050—1 400	175—210	2,6—2,7	10—15
11. Nextel 410	3 M	70 Al_2O_3, 28 SiO_2, 2 B_2O_3	2 100	189	3,05	10—12
12. Nextel 480	3 M	70 Al_2O_3, 28 SiO_2, 2 B_2O_3	2 275	224	3,05	10—12
13. PRD-166	Du Pont	Al_2O_3, 15—25 ZnO_2	2 100—2 450	385	4,2	20

Scanned with OKEN Scanner

buri, nitruri, oxizi, boruri și sticle ceramice [25]. Fibrele nr. 1—5 se utilizează deja relativ de mult iar fibrele 6—13 au început recent să se producă.

În unele cazuri se preferă materiale nearmate cu fibre întărite cu grăunți ceramici dispersi. Matricea în acest caz poate fi metalică sau ceramică. În calitate de incluziuni disperse se utilizează oxizi, carburi, nitruri, boruri, compuși intermetalici. Aceste incluziuni împiedică migrarea dislocațiilor, stabilizînd structura matricii, ceea ce contribuie la creșterea refractarității și rezistenței la fluaj în condiții de temperatură înaltă.

Firma „Nevada Engineering and Technology Corp." produce compozite pe bază de Al, Mg, Ti sau Cu cu grăunți de carburi de siliciu sau bor. Mai economice decît materialele armate cu fibre ele se folosesc la motoarele navelor cosmice și ale submarinelor.

Firma „Rockwell International Science Center" fabrică compozite pe bază de aliaje de Al cu particule de carburi de siliciu, destinate pentru înlocuirea titanului la motoarele de aviație. Rezistența materialului din aliaj de Al cu carburi de Si și B fabricat de firma „Aluminium Co. Of America" este cu 80% mai mare ca a aliajelor aerocosmice pe bază de aluminiu [26].

Aliajele de aluminiu cu litiu (1, 7 ... 3%) întărite cu oxizi de litiu și carburi de aluminiu disperse au E=78,4 GPa, alungire relativă 2%, $R_{p0,2}$=377 MPa, densitatea ρ=2,47 ... 2,63 g/cm^3 [27]. Aliajul Al-5,7% Ni cu incluziuni disperse de $AlNi_3$ au R_m=300 MPa. Adaosul în aliaj de 2 ... 3% Cu crește R_m pînă la 400 MPa, adaosul de 2 ... 3 Mn — pînă la 500 MPa [28]. Înalte valori pentru R_m și $R_{p0,2}$ au aliajele pe bază de aluminiu cu incluziuni de Al_2O_3 și Al_4C_3 călite și apoi îmbătrînite. Aliajul de aluminiu cu 1,9% Li, 1% Mn au R_m=462 MPa, $R_{p0,2}$=602 MPa, A_5=1% [29]. Rezistența la uzare a aliajului de magneziu cu adaos de 3,5% Al_2O_3 la frecare cu aliaj de aluminiu este de 8 ori mai mare decît a aliajului fără oxid de aluminiu. Aceste piese se pot folosi pentru piese de automobil [30].

Compozitul pe bază de fier cu adaos de oxid de aluminiu, obținut prin extrudare la cald în vacuum, are înaltă rezistență la uzare termică și la coroziune și se utilizează la fabricarea cilindrilor motoarelor diesel [31]. Ca material de construcție refractar se utilizează compozitul Thermenol produs de firma „TRW Materials Technologi Inc." (S.U.A.). Acesta este aliaj Fe — 16% Al — 3% Mo întărit cu grăunți de Al_2O_3. Rezistența la coroziune a compozitului în aer se păstrează pînă la 980°C [32].

Compozitul pe bază de crom cu particule de Al_2O_3 uniform dispersate are R_m=470 MPa, A_5=20%. Conductivitatea electrică a materialului reprezintă aproape 90% din conductivitatea electrică a cuprului. Compozitul se poate utiliza pentru conductoarele liniilor electrice [33]. În compozitul Glid Corp produs de firma „Glieden Metals" (S.U.A.) matricea de cupru e întărită cu grăunți de Al_2O_3. Se produc patru mărci de compozit, care conțin 0,2; 0,4; 0,7; și 1,1 Al_2O_3. Caracteristici: ρ=8,78 ... 8,82 g/cm^3, HRB=60 ... 83, $R_{p0,2}$=257 ... 446 MPa, R_m=332 ... 514 MPa, E=106 ... 136 GPa, rezistivitatea (1,87 ... 2,21) $\cdot 10^{-2}$ $\mu\Omega$m. Compozitele se utilizează pentru piesele de electromotor, instalații de comutație electrică, ștechere, piese pentru radiotehnică și electronică [34].

Scanned with OKEN Scanner

Firma „Metallwerk Plansee AG“ (Austria) fabrică patru mărci de compozite CERMOTHERM cu matrice de molibden, întărite cu grăunți de dioxid de zirconiu, care au rezistență mare la coroziune și la temperaturi ridicate, înaltă refractaritate, tenacitate la temperaturi mari. Caracteristici: E=221 ... 294 GPa, limita de rezistență la coroziune 1 470 ... 2 058 MPa, HV=2,25 ... 6,37 GPa. Materialele de diferite mărci se utilizează la tecile termocuplelor, care lucrează în convertizoare, cuptoare de topire a fontei, cuprului, alamei, zincului, pentru nacele la instalațiile la care se vaporizează metalele, matrițe pentru extrudarea alamei și a altor aliaje ale metalelor neferoase, drept căptușeală în băile de depunere electrochimică, strat de acoperire a formei pentru turnare continuă orizontală [35].

Materialele ceramice durificate dispers, păstrînd proprietățile specifice ceramicii, rezistența la coroziune și la abraziune, capătă înalte rezistență și tenacitate. În compozitul Si—$TiSi_2$, coeficientul de intensitate a tensiunii critice K_{1c}=5,5 MPa.m$^{1/2}$, ceea ce înseamnă că acesta e mult mai mare ca al carburii de siliciu pure [36]. În comparație cu SiC recopt tenacitatea compozitului SiC—TiB_2, a crescut cu 90%, K_{1c}=8,9 MPa.m$^{1/2}$, iar limita de rezistență la încovoiere a crescut cu 90% și a atins R_i=478 MPa. Conductivitatea termică a materialului λ=112 W/(m.K), rezistivitatea electrică ρ=1 Ωcm, ceea ce permite să fie prelucrat cu scîntei electrice [37]. Conform lucrării [38] adaosul în oxidul de aluminiu extrudat la cald a 16% ZrO_2 stabilizat în fază tetragonală crește tenacitatea la rupere a materialului cu 270% (K_{1s}=15 MPa.m$^{1/2}$) iar limita de rezistență la încovoiere cu 300% (R_i=1 200 MPa). Această influență pozitivă, cu toate că mai puțin eficace, se observă la durificarea ZrO_2 cu carbură și nitrură de siliciu, mullit, spinell, ZnO. Transformarea polimorfă a oxidului de zirconiu determină apariția, în apropierea particulelor a tensiunilor și microfisurilor, ce constituie capcana fisurilor mari, ceea ce împiedică dezvoltarea lor.

Compozitul ceramic Silcomp (Firma General Electric Co.) conține grăunți de SiC cu dimensiuni de 1 ... 50 μm uniform distribuiți în matricea de siliciu. El se utilizează în calitate de material de construcție rezistent la temperaturi înalte (temperatură maximă de lucru, 1 370°C), în special la palete de turbină [39]. Compozitul pe bază de carbură de siliciu cu adaos de oxizi ai metalelor rare au înaltă rezistență mecanică, la oxidare și poate fi utilizat la construcția reactoarelor nucleare [40]. Compozitul cu matrice din corindon (Al_2O_3) cu particule de nitrură de bor hexagonală are stabilitate termică peste 950°C și $R_{incovoiere}$= =134 MPa. La dispersarea în matrice de corund a oxinitrurii de Al, materialul numit aluminalon, obținut de firma „Ecole Nationale Superieure des Mines“ (Franța) are: $R_{incovoiere}$=364 MPa, HV=22,5 GPa la ρ=3,89 g/cm^3. Se utilizează pentru fabricarea pieselor de motoare, filiere, scule de tăiere. Ambele compozite sînt rezistente la oxidare pînă la 1 200°C [41].

În literatura tehnică de peste hotare sînt date numai cîteva exemple de folosire a compozitelor în diferite domenii ale tehnicii. Se observă tendința de diversificare a nomenclaturii compozitelor, printre care și cele ce conțin ceramică în matrice, fibre, incluziuni disperse. De aceea, sarcina prelucrării și folosirii acestor compozite este foarte actuală.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. FEEST, E. A. Metal matrix compozites for industrial aplication. În: Mater. and Des., 7, nr. 2, 1986, p. 58—64.
2. FOLGAR, F. ș.a. Fiber FB-metal matrix compozites in reciprocating engines. În: Ceram. Eng. and Sci. Proc., 5, nr. 7, 1984, p. 643 . . . 653.
3. ȘOII, S. Cercetarea și studiul materialelor compozite cu matrice metalică, armate cu fibre, conform proiectului național Japonez de studiu și cercetare a tehnologiilor fundamentale de producție. În: Dzaire Kagaku, Tokyo, vol. II, 1982, p. 1407—1413.
4. TANAKA, J. ș.a. Mechanical properties of SiC fibre reinforced Al compozites. În: Proc. Sci. and Eng. Compos.; Proc. 4 th Intern. Conf. ICCM-IV (Tokyo, 25—28 oct. 1982), vol. II, Tokyo, 1982, p. 1407—1413.
5. TACIUKITI, O. Proprietățile mecanice ale materialelor compozite din Al, întărit cu fibre filiforme de SiC. În: Nihon Kindzoki dakkai caihhe, aprilie 1985, p. 215.
6. * * * Procedeu de obținere a materialelor compozite cu matrice metalice întărite cu fibre filiforme de SiC. Patent 59—31 837, Japonia.
7. OSAMU, V. Metale armate cu fibre. În: Nihon dăosăn gak, nr. 689, 1986, p. 682—688.
8. * * * Compozite de aluminiu cu fibre de alumină. În: Met. and Mater. Technol., 16, nr. 1, 1984, p. 12—13.
9. Metal matrix compozites offer new opportunies for PM. În: Metal Powder Report, 41, nr. 2, 1986, p. 161.
10. LILHOLT, H. Metaller og legeringer forstaerket med fibre. În: Smea, nr. 20, 1985, p. 14—15.
11. Aliaj armat cu fibre. Patent 59—23 824.
12. NANKI, P. ș.a. Isothermal oxidation of the COTAC 74 in-situ composite between 800 and 1300 C. În: Ztschr. Metallkunde, 74, nr. 3, 1983, p. 138—145.
13. IUKIA, N. Studiul aliajelor cu cristale orientate pentru palete de turbină. În: Nihon fukugo dzaire ghekkaisi, 8, nr. 1, 1981, p. 2—8.
14. Method for preparing fiber-reinforced metal compozite material. Patent 4547435 (S.U.A.).
15. BOCH, P. ș.a. Renforcement des ceramiques a vocations thermomecaniques". În: Rev. intern. hautes temper. et refract., 19, nr. 3, 1982, p. 119—157.
16. RIOZO, H. Energia și ceramica. În: Kogako to koghe, 56, nr. 10, 1982, p. 372—378.
17. KADZUO, U. ș.a. Proprietățile și utilizările ceramicii armată cu fibre. În: Kaghe dzaire, 31, nr. 5, 1983, p. 85—90.
18. BULJAN, S. T. ș.a. Compozite Si_3N_4—SiC. În: Amer. ceram. Soc. Bull., 66, nr. 2, 1987, p. 347—352.
19. English, L. K. Fabricating the future with compozite materials, partea întîi, The basics. În: Mat. Eng., 103, nr. 11, p. 29—35.
20. HOMENY, J. ș.a. Processing and mechanical properties of SiC—whisker—Al_2O_3—matrix composites. În: Amer. Ceram. Soc. Bull., 66, nr. 2, 1987, p. 26—40, 333—338.
21. SANDERS. H. J. High.-tech. ceramics. În: Chemical and Engineering News, 62, nr. 28, 1984, p. 26—40.
22. MAH, T. High-temperatura mecanical behavior of fiberein-forced-glass-ceramic-matrix compozites. În: J. Amer. Ceram. Soc., 68, nr. 9, 1985, p. 248—251.
23. NAOHIRO, I. Cercetări peste hotare ale materialelor compozite. În: Tățu to hagană, 71, nr. 13, 1985, p. 1567.
24. DERMARKAR, S. Metal matrix compozites. În: Metals and Mater., 2, nr. 3, 1986, p. 144—146.
25. MAH, T. I. Recent developments in fiber reinforced high temperature ceramic composites. În: Amer. Ceram. Soc. Bull., 66, nr. 2, 1987, p. 304—308; 317.
26. Trends in plastics, ceramics and compozites technology. În: Metal Progr., 125, nr. 1, 1984, p. 89—90; 92.
27. * * * Mechanically alloyed dispersion strengthened aluminium lithium alloy. Patent 4532106 (S.U.A.).

Scanned with OKEN Scanner

28. TERAO, N. Beneficial influence of copper and manganeze alloyng elements on the mechanical properties of metallic composite materials based on the eutectic Al—5,7% Ni alloy. În: J. Mater. Sci, 20, nr. 11, 1985, p. 4021—4026.
29. GILMAN, P. S. The phisical metallurgy of the mechanically-alloyed, dispersion-strengthened Al—Li—Mg and Al—Li—Cu alloys. Warendale, 1984, p. 485—506.
30. SHOOK, S. O. și GREEN, W. G. Improving magnesiums wear resistence a composite approach. În: Light Metall Age, 43, nr. 5—6, 1985, p. 485—506.
31. Material compozit Al—oxizi de fier obținut în vacuum. În: Ion Sci. and Technol., nr. 110, 1985, p. 4.
32. FERGUSSON, B. L., FLECK, J. N. Processing effects on microstructure and elevated temperaturi properties of an ODS Fe—Al MoP/M alloy. În: Mod. Dev. Powder Met., Princeton New-York, vol. 14, 1981, p. 27—49.
33. Procedeu de obținere a aliajelor întărite cu oxid de aluminiu dispers. Patent 59—80 741, Japonia.
34. Prospectul firmei „Glidden Metals" (S.U.A.), 6 p.
35. Cermotherm. Prospectul firmei „Metallwerk Plansee AG (Austria) 12 p.
36. STINTON, D. P. și LACKEY, W. J. Simulta neous chemical vapor depozition of the SiC—dispersed phase compozites. În: Ceram. Eng. and Sci. Proc. nr. 7—8, 1985, p. 707—713.
37. MC. MURTY ș.a. Microstructure and material properties of SiC—TiB particulare composites. În: Amer. Ceram. Soc. Bull., 66, nr. 2, 1987, p. 325—329.
38. CLAUSSEN, N. Umwandungsverstarke keramische Werkstoffe. În: Ztschr. Werkstofftechnik, nr. 6, 1982, p. 185—196.
39. MECHAN, R. L. ș.a. Si/SiC ceramic compozites; properties and aplications. În: Ceram. Eng. and Sci. Proc., nr. 7—8, 1980, p. 405—418.
40. Composite silicon carbide sintered shapes and their manufacture. Patent 2 142 343, Marea Britanie.
41. TURPIN LAUNAY, D. ș.a. Nouveau materiau ceramique composite contenante de l'alumine, l'aluminalon. În: Ind. Ceram., nr. 5, 1983, p. 343—345.

Scanned with OKEN Scanner

15.
Carbura de siliciu metalurgică valorificată la elaborarea fontelor în cuptoare electrice și în cubilou

Dr. ing. *Iulian Ripoşan*
Institutul Politehnic București
Ing. *Ioan Petruș*
Ing. *Viorel Pintea*
Întreprinderea de produse refractare „9 Mai" Turda

1. Generalități

Carbura de siliciu este un material sintetic, cu formula chimică SiC obținut prin reacția chimică dintre nisipul cuarțos (peste 98% SiO_2) cu carbonul conținut în cocsul de petrol, la temperaturi ridicate (1 600—2 300°C), conform reacției generale:

$$SIO_2+3C\rightarrow SiC+2CO\ -\ 618{,}5\ kJ \qquad (1)$$

Producerea acestui material sintetic se realizează în cuptoare electrice de construcție specială, cu rezistență, la obținerea căruia se înregistrează mari consumuri de energie electrică (9 000—11 000 kWh/t), durata de obținere a unei șarje (10—12 t) fiind pe un ciclu complet de 240 h.

În fig. 15.1 este prezentată schema secțiunii încărcăturii rezultate într-un cuptor, după reacția chimică dintre nisipul cuarțos și cocsul petrol, iar în fig. 15.2 se prezintă schema fluxului tehnologic, de la Întreprinderea de Produse Refractare „9 Mai" Turda, de obținere a carburii de siliciu metalurgice

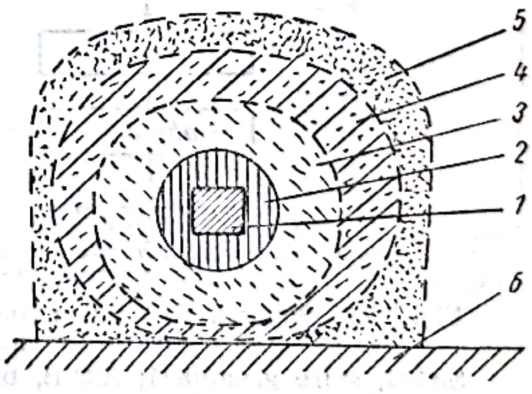


Fig. 15.1. Secțiune prin încărcătura cuptorului electric de fabricare a carburii de siliciu:
1 — miez de grafit; *2* — carbură de siliciu α, cristalizată hexagonal și romboedric; *3* — carbură de siliciu β, cristalizată cubic (metalurgică); *4* — xiloxicon; *5* — amestec de izolare; *6* — vatra cuptorului.

Cuptorul se încarcă cu amestecul de nisip cuarțos și cocs de petrol în proporții stabilite și prin încălzirea cu ajutorul rezistenței electrice are loc reacția chimică a componenților, rezultînd (v. fig. 15.2) mai multe tipuri de carbură de siliciu), funcție de poziția față de rezistența electrică (respectiv de temperatură). Astfel, la partea interioară, mai pu-

ternic încălzită (2 100—2 300°C) se obţine o carbură de siliciu cristalizată hexagonal şi romboedric, cu cristale mari, orientate (carbură de siliciu forma α), în timp ce în straturile exterioare, cu temperaturi mai scăzute (1 600—2 000°C) se obţine o varietate de carbură de siliciu cristalizată cubic, cu cristale fine (carbura de siliciu forma β). Zona periferică, ce a

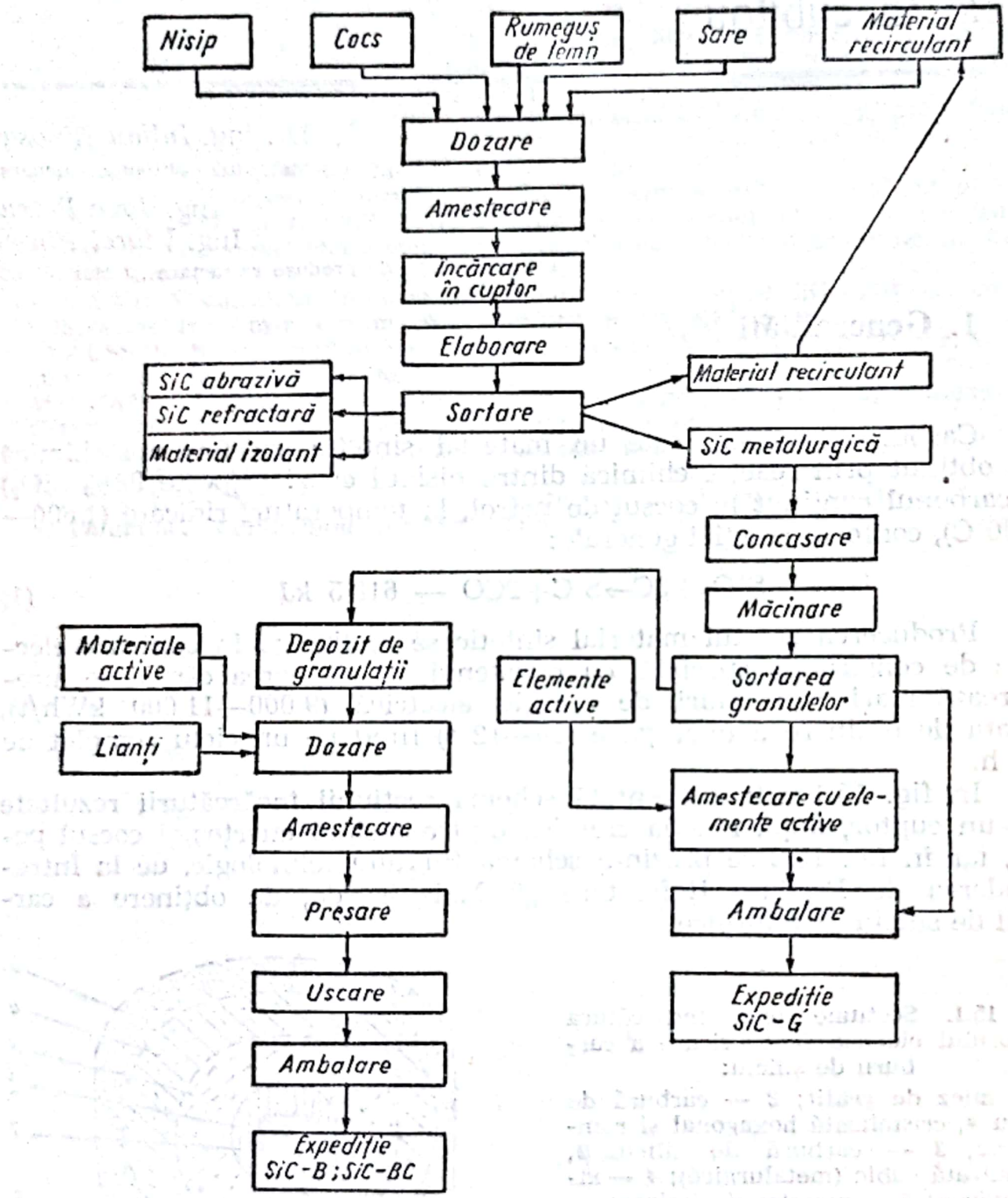


Fig. 15.2. Schema fluxului tehnologic de obţinere a carburii de siliciu metalurgice:
SiC-G, stare granulară; SiC-B, brichete de SiC pentru cuptoare electrice; SiC-BC, brichete speciale de SiC pentru cubilou.

atins temperaturi joase (1 400—1 700°C) conţine un amestec de carbură forma β cu material nereacţionat (SiO_2+C), cu caracter poros, numit *siloxicon*. Carbura de siliciu de înaltă temperatură (forma α) se utilizează în industria abrazivilor şi refractarelor, iar carbura de siliciu de

Scanned with OKEN Scanner

temperatură joasă (forma β) se utilizează la obținerea fontei și oțelului, fiind denumită *carbură de siliciu metalurgică.*

Date recente [2] evidențiază faptul că în prezent (anul 1988) capacitatea de producție pe plan mondial a carburii de siliciu este de cca 700 000 t/an (tabelul 15.1), utilizarea sa fiind structurată pe trei domenii principale:

— industria produselor abrazive;
— industria produselor refractare;
— industria metalurgică, la obținerea fontei și oțelului (fig. 15.3); carbura de siliciu metalurgică se utilizează la dezoxidarea și alierea fontei și oțelului, precum și pentru modificarea fontei.

Tabelul 15.1. **Capacități de producție actuale de SiC pe plan mondial**

Zona	Capacități existente t/an
Europa de Vest	240 000
Europa de Est	150 000
America de Nord	130 000
Japonia	90 000
China	40 000
Mexic	25 000
America de Sud	20 000
India	10 000
TOTAL	700 000

Cele două forme de cristalizare α și β se separă inițial de siloxicon, apoi manual are loc diferențierea pe calități — carbura de siliciu cristalizată hexagonal de cea cristalizată cubic. În timpul separării, se urmărește limitarea impurificării primului sortiment, a cărui calitate este înrăutățită în mod deosebit în cazul amestecării cu forma de cristalizare cubică (β).

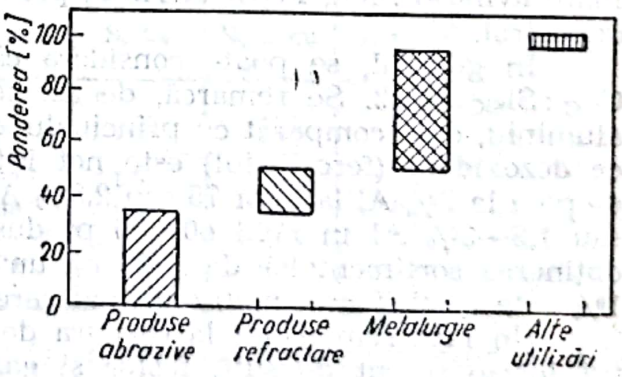


Fig. 15.3. Domenii de utilizare ale carburii de siliciu pe plan mondial.

2. Proprietăți

Carbura de siliciu α, de înaltă temperatură este caracterizată (tabelul 15.2) prin puritate mare (96—98% SiC), duritate mare (9,4 pe scara Mohs), conductivitate termică mare (de peste 10 ori mai mare comparativ cu produsele silica sau șamotă), un coeficient de dilatare liniară re-

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.2. **Caracteristicile carburii de siliciu cristalizată hexagonal și romboedric**

Caracteristica	Valoarea
Densitatea	3,21 t/m³
Duritate k_{noop} 100	2 600 (Al_2O_3=2 050) (W_4C=2 100)
Mohs	9,4
Conductivitatea termică	
— la 20°C	41,0 W/m°C
— la 1 000°C	21,3 W/m°C
Coeficientul de dilatare termică (25—1 600°C)	$5 \cdot 10^{-6}$ °K
Căldură masică la:	
— 20°C	0,67 kJ/kg°C
— 100°C	0,85 kJ/kg°C
— 1 000°C	1,25 kJ/kg°C
— 1 500°C	1,50 kJ/kg°C
Rezistență mecanică (valori medii):	
— compresiune	58 daN/mm²
— încovoiere	8 daN/mm²

dus (5×10^{-6}°K) și o rezistență mecanică relativ mare. Carbura de siliciu α se comportă diferit, funcție de tensiunea aplicată: este dielectric la tensiuni medii și mici și bun conducător de electricitate la valori mari ale tensiunii, valoarea fiind și în funcție de puritatea cristalelor.

Carbura de siliciu β, *de joasă temperatură,* prezintă un grad mai mare de impurificare și neomogenitate (tabelul 15.3) dar dispune de o serie de calități ce o recomandă ca pe un material deosebit la elaborarea aliajelor feroase [5].

Compoziția chimică de bază conține deci cca 90% SiC (cu un conținut de 70% Si și 30% C), alături de care sînt elementele însoțitoare pure, carbonul liber (provenit din cocsul de petrol nereacționat) și siliciu liber (nereacționat cu carbonul) și o serie de oxizi, ponderea cea mai mare avînd-o SiO_2, Fe_2O_3 și Al_2O_3 provenite din nisipul cuarțos și cocsul de petrol.

În general, se poate considera că în carbura de siliciu raportul: $C_{SiC} : Si_{SiC} = 1 : 2$. Se remarcă, de asemenea, conținutul foarte scăzut de aluminiu, care comparat cu principalul material utilizat pentru aliere sau ca dezoxidant (ferosiliciul) este net inferior: 0,2—0,5% la carbură față de pînă la 2% Al la FeSi 75 sau 2,5% Al la FeSi 90 — produse de import sau 1,5—3% Al în FeSi 60—65 produs în țara noastră (se cunoaște că obținerea sortimentelor de FeSi cu un conținut de aluminiu scăzut sub 1% este costisitoare, motiv pentru care acestea sînt greu accesibile).

Un fapt remarcabil la carbura de siliciu metalurgică este conținutul foarte scăzut de sulf, fosfor și gaze în comparație cu principalele materiale carbonice utilizate în procesul de carburare a fontei (tabelul 15.4) [5].

Datorită rezistenței sale la umiditate, carbura de siliciu poate fi înmagazinată timp nelimitat, spre deosebire de anumite feroaliaje, ca de exemplu Si-Mn, care la o granulație fină acumulează hidrogen.

Granulația carburii de siliciu metalurgice este în general cuprinsă în domeniul 0 . . . 20 mm, ponderea maximă fiind la valorile sub 10 mm.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.3. **Compoziția chimică complexă a carburii de siliciu metalurgice**

Componentul	Valori tipice, %	Limite de variație, %	Limite determinate la I.P.R. „9 MAI" Turda
SiC	90,0	88,0—93,0	83,79—93,93
C (liber)	4,0	2,0—5,0	0,74—3,76
Si (liber)	0,1	0,1—0,3	
Al (în cristal)	0,2	0,1—0,3	
Fe	0,3	0,2—0,5	0,20—1,19*
CaO	0,3	0,1—0,5	
MgO	0,1	0,05—0,2	
Al_2O_3	0,5	0,1—1,0	0,07—0,74
SiO_2	2,5	2,0—3,0	2,87—7,15**
As	Sub 0,002		
Cd	0,005		
Co	0,003		
Cr	0,005		
Cu	Sub 0,01		
H	0,01		
Mo	Sub 0,02		
Mn	0,01		
N	0,03		
Ni	0,05		
P	0,002		
S	0,07		
Sb	Sub 0,001		
Se	Sub 0,0001		
Sn	Sub 0,001		
Te	Sub 0,0001		
Ti	0,05		
V	0,05		

* ca Fe_2O_3; ** plus Si liber

Tabelul 15.4. **Conținutul de S, N, H în SiC comparativ cu a unor materiale carbonice**

Material de carburare	Compoziția chimică, %			
	C, %	S, %	N, ppm	H, ppm
Deșeuri de electrozi	99	0,05	150	100
Cocs de petrol calcinat	98	1,5	6 000	1 500
Cocs de gudron	98	0,4	7 000	2 000
Carbură de siliciu metalurgică	31	0,07	300	100

Densitatea SiC (tabelul 15.5) [1, 3, 11] este de același ordin de mărime cu densitatea FeSi 75, respectiv cu cca 20% mai scăzută față de a FeSi 60.

Capacitatea de oxidare (reactivitatea) a carburii de siliciu este scăzută, chiar în cazul în care încălzirea a avut loc în mediu de oxigen (fig. 15.4) [5]. La suprafața granulelor se formează un strat protector de SiO_2 (cristobalit), astfel că în mediu de oxigen pur la 1 500°C, la o granulație de 63 µm (suprafață specifică foarte mare), după 9 h doar 6% din carbură a fost oxidată.

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.5. **Densitatea SiC comparativ cu a altor materiale**

Material	Componenţa	Densitatea, kg/m³
Carbură de siliciu	SiC	3 200—3 210
Electrocorindon (corund)	Al_2O_3	4 000
Mullit	$3\,Al_2O_3 \cdot 2\,SiO_2$	3 200
Cristobalit	SiO_2	2 300
Siliciu	Si	2 328
Ferosiliciu	90% Si	2 550
	80% Si	3 030
	70% Si	3 510
	60% Si	4 000

La încălzire, carbura de siliciu practic nu se topeşte la presiune normală. La temperaturi ridicate (2 760°C) se descompune în siliciu vapori şi grafit solid (fig. 15.5) [5]. Totuşi, prin încălzire îndelungată se înregistrează un proces de descompunere cu punere în libertate a carbonului şi a siliciului, fenomen ce are loc la peste 1 000°C în mediu oxidant şi la peste 2 000°C în mediu reducător [2].

Deşi nu se topeşte, carbura de siliciu *se dizolvă* gradat în zgură şi fonta lichidă, interacţionînd cu oxizii conţinuţi de acestea.

Capacitatea de dizolvare a carburii de siliciu în fontă creşte o dată cu mărirea temperaturii, dar scade la micşorarea granulaţiei, fenomen datorat peliculei de SiO_2 ce acoperă fiecare granulă de SiC.

Comparînd viteza de dizolvare în fontă a carburii de siliciu cu a altor materiale carbonice, lucrarea [17] remarcă faptul că în cazul carburii de siliciu aceasta are valori mai scăzute (0,022—0,034% carbon echivalent/min) faţă de cea înregistrată de grafitul sintetic (0,04—0,098%

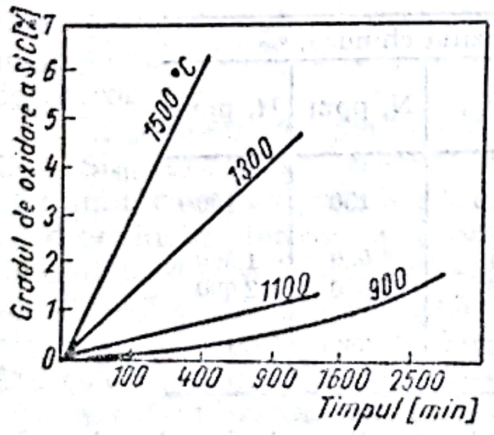


Fig. 15.4. Gradul de oxidare a carburii de siliciu pure cu granulaţia de 63 μm, în mediu de oxigen.

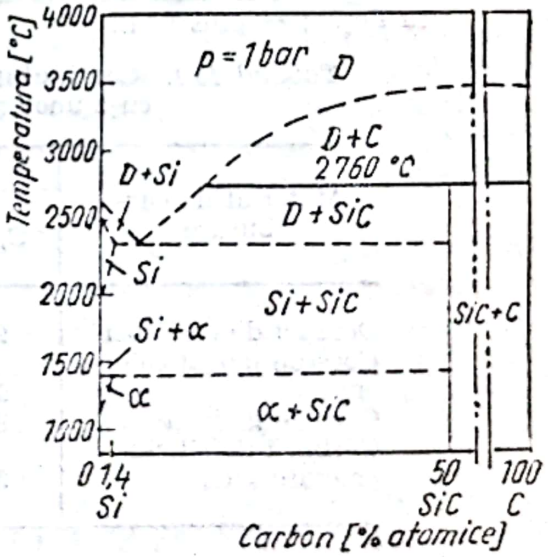


Fig. 15.5. Diagrama de echilibru Si-C.

CE/min), grafitul natural (0,03—0,072% CE/min), cocsul de petrol calcinat (0,06—0,065% CE/min), cocsul metalurgic (0,043% CE/min). Această situaţie este pusă pe seama faptului că particulele de carbură de siliciu sînt învelite într-o peliculă „protectoare" de SiO_2, care le măreşte stabilitatea, rămînînd astfel disponibile în fonta lichidă o perioadă mai mare de timp.

Scanned with OKEN Scanner

3. Utilizarea carburii de siliciu metalurgice la elaborarea fontelor

Carbura de siliciu metalurgică se utilizează de mai mult timp la elaborarea fontelor, fiind tot mai prezentă la obținerea fontelor de înaltă calitate, în toate agregatele de elaborare (cubilou, cuptoare electrice), precum și în procesele de modificare [1, 16, 17].

Pe plan mondial, se estimează că 90% din producția de 500 000 tone carbură de siliciu/an se utilizează în industria metalurgică, la obținerea fontei și oțelului [2].

Firmele producătoare de carbură de siliciu metalurgică o livrează în stare granulară (0—20 mm) pentru cuptoare electrice și sub formă de brichete, pentru cuptoare electrice și cubilou (tabelul 15.6) [3].

Tabelul 15.6. **Sortimente de carbură de siliciu metalurgică, utilizate pe plan mondial**

Firme producătoare	Denumirea comercială	Caracteristicile carburii de siliciu metalurgice oferite
SIKA — Norvegia (30 000 t SiC/an)	SIKA Metalurgical Silicon Carbide (FD)	Granulație: 0—20 mm FD, 0—8 mm FD, 0—3 mm FD, 0—1 mm FD Compoziție chimică: 92—94% SiC, 2,5% SiO_2, 0,5% Si, 0,3% Fe, 0,3% CaO, 0,4% Al_2O_3 Mod de livrare: granulară și sub formă de brichete
SHOWA DENKO K.K. — Japonia	SDK Silicon Carbide — FCB — FCG	Ferro Densic Briquette — FCB cu 67% SiC. Brichete de carbură de siliciu, recomandate pentru dezoxidarea fontei și oțelului, pentru toate tipurile de cuptoare, inclusiv cubilou. Ferro Densic Granular — FCG cu 88% SiC. Carbură de siliciu granulară, recomandată pentru dezoxidarea oțelului.
AMMI ABRASIVI — Italia (20% din capacitatea totală din Europa de Vest)	MECCARB — MECCARB AMODEX — MECCARB AMODEXBR	Carbură de siliciu granulară: 0—10 mm, 90% SiC, pentru dezoxidare, carburare și aliere cu siliciu a fontei și oțelului. Carbură de siliciu brichete: BR 230 (85×80×50 mm, 50% SiC, 35% Si, 230 gr. Si), BR 1 000 (128×128×90 mm, 55% SiC, 38% Si, 1 000 gr. Si), pentru alierea cu Si a fontelor în locul FeSi.
NORTON — S.U.A.	CRYSTOLON SiC	90—95% SiC, 1—4% SiO_2, 0,2—1,0% Si, 3—6% C, 0,05—0,20% Fe, sub 0,05% Al, 0,1—0,4% Ca, 0,2—0,6% Mg Granulația: $1^1/_2$ țoli și mai fin.
LONZA — Elveția	SIPLUS SIMAX	

Scanned with OKEN Scanner

În țara noastră Întreprinderea de Produse Refractare „9 MAI“ Turda produce carbură de siliciu destinată fabricării abrazivilor și refractarelor, precum și carbură de siliciu metalurgică. Carbura produsă pentru metalurgie este în stare granulară (SIC-G) și brichetată (SIC-B pentru cuptoare electrice și SIC-BC pentru cubilouri). Alături de carbura de siliciu propriu-zisă, produsă de I.P.R. „9 MAI“ Turda (cu compoziție chimică prezentată în tabelul 15.7) se mai utilizează o serie de adaosuri active, ce contribuie la intensificarea acțiunii acestui material în cuptoarele electrice, făcînd de asemenea posibilă folosirea lor în cubilou (brichetele speciale SiC-BC).

Tabelul 15.7. **Carbura de siliciu metalurgică fabricată de I.P.R. „9 Mai“ Turda pentru cuptoare electrice**

Caracteristica	Sortiment SiC-G		Sortiment SiC-B	
	Tip I	Tip II	Tip I	Tip II
Starea de livrare	Granulară		Brichete	
Caracteristici	0—20 mm		4—8 kg	
Componența, în % — SiC — $Si+SiO_2$ — C (liber) — Fe_2O_3 — Al_2O_3	 80—86 3—5 3—6 max. 3,5 max. 3,0	 87—93 2—4 2—3 max. 3 max. 3	 75—81 3—5 3—6 max. 3,5 max. 3,0	 82—88 2—4 2—3 max. 3 max. 3
Elemente active — Si, în % — C, în %	 56,1—60,3 27,0—32,8	 61,0—65,2 28,1—30,9	 52,6—56,8 25,5—30,3	 57,5—61,7 26,6—30,4

Utilizarea carburii de siliciu în cuptoare electrice. La elaborarea fonte inducție cu căptușeală acidă, carbura de siliciu este utilizată de regulă în două scopuri:

— pentru dezoxidarea încărcăturii;
— ca sursă de siliciu și carbon pentru fontă.

Dezoxidarea încărcăturii metalice. Încărcătura metalică a cuptoarelor electrice este (și trebuie să fie) formată preponderent din deșeuri, îndeosebi din fier vechi, motiv pentru care se introduc în cuptor cantități mari de oxizi (îndeosebi de fier), ce afectează negativ atît durabilitatea căptușelii cît și pierderile prin ardere.

Astfel, în cazul cuptoarelor cu inducție cu creuzet, cu căptușeală acidă, creșterea ponderii deșeurilor de oțel oxidate în încărcătură determină micșorarea accentuată a duratei de exploatare a căptușelilor refractare pe bază de cuarțită (fig. 15.6) ca urmare a interacțiunilor unor oxizi (FeO, Fe_2O_3, MnO) ai încărcăturii cu SiO_2 din căptușeală [1].

Această situație poate fi preîntîmpinată în cazul în care o dată cu încărcătura metalică se introduce în cuptor și carbură de siliciu meta-

Scanned with OKEN Scanner

lurgică, aceasta participînd la reducerea oxizilor capabili să interacționeze cu căptușeala. Ca urmare (fig. 15.7 *a*), compoziția chimică a zgurii se schimbă, cantitatea de oxizi de fier micșorîndu-se cu peste 70%. Acțiunea SiC este mai puternică decît cea a carbonului (deșeuri de electrozi) și de aceea aceasta este utilizată în mod curent pentru reducerea gradului de oxidare a încărcăturii. Puterea de acțiune mărită a SiC se explică prin aceea că în masa de fontă topită carbonul și siliciul sînt regăsite în stare „născîndă" imediat după reacția de descompunere și ca urmare, afinitatea acestor elemente pentru oxigen este mult mărită față de a elementelor stabile aflate în carbonul provenit din electrozi, grafit sau cocs.

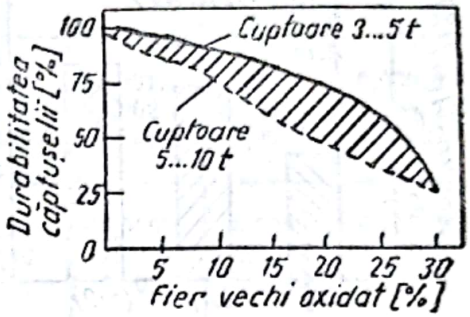


Fig. 15.6. Influența ponderii fierului vechi oxidat în încărcătura cuptorului cu inducție cu căptușeală acidă asupra durabilității acesteia.

Prin adăugarea la SiC metalurgică, de adaosuri active, se mărește și mai mult puterea de dezoxidare. În toate cazurile, creșterea temperaturii fontei favorizează micșorarea conținutului de oxizi de fier în baie (fig. 15.7, *b*). Adaosul de SiC scade pierderea prin ardere și conținutul de gaze al fontei (v. tabelul 15.8), contribuind la îmbunătățirea acesteia ca și la reducerea costului de fabricație.

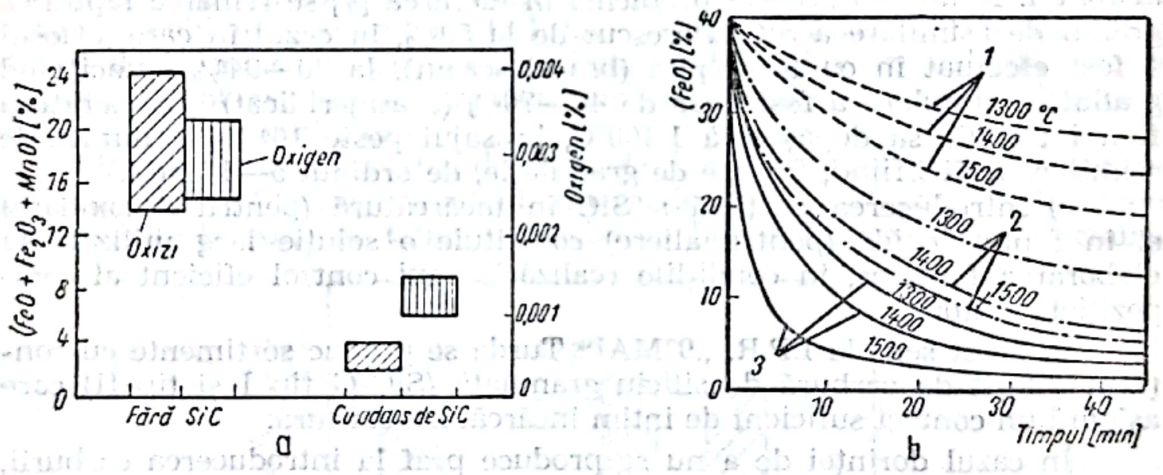


Fig. 15.7. Micșorarea gradului de oxidare a zgurii în cuptorul cu inducție cu creuzet cu căptușeală acidă sub acțiunea SiC (*a*) și comparativ sub acțiunea diferitelor adaosuri (*b*):
1 — C; *2* — SiC; *3* — SiC+adaos activ.

3.1.2. *Creșterea conținuturilor de C și Si ale fontei*

Concomitent cu efectul de dezoxidare, adaosul de SiC participă și la îmbogățirea în siliciu și carbon a fontei (fig. 15.8). Aportul în C și Si a carburii de siliciu metalurgice depinde de o serie de factori, precum:

— compoziția chimică a carburii de siliciu;
— gradul de oxidare și compoziția chimică a încărcăturii metalice;
— modul de introducere a SiC în cuptor;
— temperatura fontei lichide;
— durata de contact fontă lichidă — SiC.

În general, gradul de asimilare a celor două elemente este de ordinul a 70—95%.

Scanned with OKEN Scanner

De o importanță mare, ținînd cont că în general ceilalți factori susmenționați sînt cunoscuți, respectiv fixați tehnologic, este durata de contact fontă topită-SiC, care este strîns legată de *modul de introducere a carburii de siliciu metalurgice* în cuptor, existînd multiple posibilități:

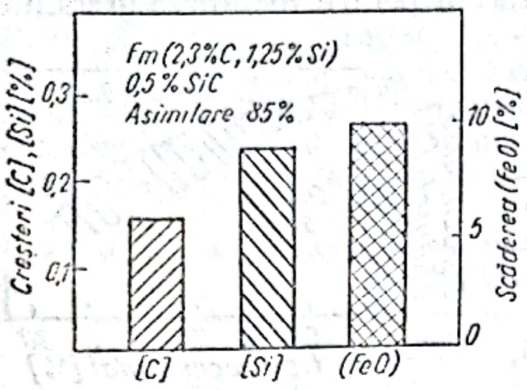


Fig. 15.8. Dezoxidarea zgurii și creșterea conținutului de C și Si prin adaosul de 0,5% SiC în cazul fontei maleabile produse în cuptorul cu inducție.

a) Adaosul de carbură metalurgică o dată cu materialele metalice (în încărcătura cuptorului), recomandîndu-se [5] ca la început să se încarce SiC și fierul vechi, cele două materiale într-un contact cît mai strîns și apoi deșeurile de fontă și fonta nouă. În aceste condiții se asigură o reducere avansată a gradului de oxidare a încărcăturii, cu efectele favorabile amintite. Această metodă se recomandă cînd încărcătura e puternic oxidată și eliminarea oxizilor constituie obiectivul prioritar al adaosului de SiC.

b) SiC se poate adăuga după topirea încărcăturii, cînd gradul de oxidare a acesteia este scăzut, în care caz scopul principal îl constituie alierea cu siliciu și carbon. În această situație un rol hotărîtor îl are gradul de agitare electromagnetică a topiturii (brasajul), precum și gradul de supraîncălzire al fontei. Analizînd această problemă în lucrarea [4] se remarcă faptul că gradul de asimilare a SiC a crescut de la 50%, în cazul în care adaosul a fost efectuat în cuptorul plin (brasaj scăzut), la 80—94% atunci cînd gradul de umplere a fost doar de 40—70% (brasaj ridicat). Temperatura fontei trebuie să depășească 1 400°C, brasajul peste 10% [1], durata de asimilare a SiC fiind, funcție de granulație, de ordinul 5—15 min.

c) Introducerea parțială a SiC în încărcătură (pentru dezoxidare) și în fontă lichidă (pentru aliere) constituie o soluție larg utilizată la elaborarea fontelor, în condițiile realizării unui control eficient al compoziției acestora.

În acest sens la I.P.R. „9 MAI" Turda se produc sortimente cu conținut diferit de carbură de siliciu granulată (SiC-G tip I și tip II) care asigură un contact suficient de intim încărcătură-carbură.

În cazul dorinței de a nu se produce praf la introducerea carburii, fapt ce conduce și la pierderi de material de aliere-dezoxidare, s-au produs brichete SiC-B cu o rezistență mecanică suficientă pentru asigurarea unei manipulări comode, dar care, la temperatură ridicată, datorită liantului utilizat, asigură dezmembrarea rapidă în particule, asigurîndu-se astfel ușor contactul încărcătură-carbură.

Utilizarea carburii de siliciu în cubilou. Condițiile de funcționare a cubiloului, respectiv atmosfera gazoasă cu un grad ridicat de oxidare, presiunea și viteza mare de circulație a gazelor, greutatea coloanei de încărcătură etc. nu permit utilizarea carburii de siliciu granulare (SiC-G) sau a brichetelor cu rezistență mecanică scăzută (SiC-B), utilizabile în cuptoarele electrice, așa cum sînt cele prezentate în tabelul 15.8 de proveniență Î.P.R. „9 MAI" Turda.

Pentru acest agregat de elaborare se realizează brichete speciale din carbură de siliciu metalurgică, la care ca liant se utilizează un ciment

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.8. **Influenţa SiC asupra pierderilor prin ardere şi conţinutului de gaze în fontele elaborate în cuptoarele cu inducţie acide**

Încărcătura cuptorului	Pierderi prin ardere, %				Conţinut de gaze în fontă, %			
	C	Si	Mn	Total	Temperatura fontei, °C	Oxigen	Azot	Hidrogen
Oxidată (fără SiC)	23,0	21,5	18,0	16,2	1 300 1 400 1 500	0,0012 0,0025 0,0034	0,0031 0,0048 0,0079	0,00011 0,00021 0,00031
Dezoxidată (cu adaos SiC)	10,7	8,2	6,3	7,4	1 300 1 400 1 500	0,0007 0,0011 0,0012	0,0020 0,0038 0,0059	0,00012 0,00018 0,00032

avînd şi diferite adaosuri generatoare de zgură, de obicei din sistemul $CaO—Al_2O_3—SiO_2$, la un conţinut ridicat de 35—75% SiC (v. tabelul 16.6). Aceste brichete posedă o rezistenţă mecanică ridicată, ce le permite să ajungă în zona de topire, adaosurile din compoziţia lor protejînd carbura de oxidare. Prin descompunerea în zona de topire, se asigură interacţiunea SiC cu o serie de oxizi, chiar în timpul de formare a zgurii [1; 3—10]. Un asemenea sortiment, brichetele SiC—BC, destinat utilizării în cubilouri, se produce la Î.P.R. „9 MAI" Turda. Utilizarea acestor tipuri de brichete de carbură de siliciu metalurgică în cubilou are o acţiune complexă, atît asupra funcţionării acestui agregat de elaborare cît şi asupra calităţii fontei.

Reducerea conţinutului de oxizi de fier din zgură şi scăderea consumului de căptuşeală refractară. Interacţiunea SiC — pusă în libertate de brichete în zona de topire, cu oxizi de fier ai încărcăturii, determină

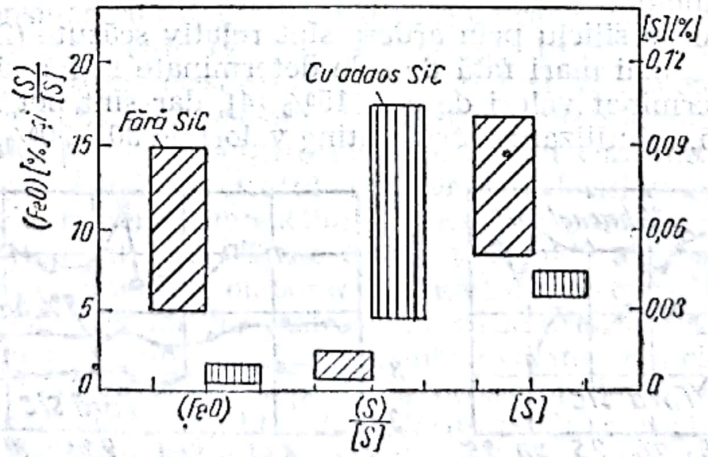


Fig. 15.9. Acţiunea de dezoxidare şi desulfurare a carburii de siliciu în cubiloul acid.

nu numai micşorarea pierderilor prin ardere în cubilou, respectiv creşterea gradului de valorificare a metalului, dar şi limitarea capacităţii de interacţiune a zgurii cu căptuşeala acidă. Scăderea accentuată a conţinutului de FeO din zgură (fig. 15.9) micşorează capacitatea acesteia de a eroda căptuşeala, ceea ce favorizează nu numai reducerea consumului

Scanned with OKEN Scanner

de materiale refractare, dar și mărirea duratei de funcționare a cubiloului. Se reamintește faptul că zgura primară puternic oxidată, cu un conținut ridicat de FeO, este cauza principală a consumului de căptușeală refractară [1].

Micșorarea conținutului de sulf al fontei. Reacția principală de desulfurare a fontei în cubilou este cea dintre CaO din zgură și FeS din fontă

$$(CaO)+[FeS]\longrightarrow(CaS)+(FeO) \qquad (2)$$

În aceste condiții micșorarea activității oxigenului în zgură constituie un factor esențial al favorizării procesului de desulfurare [1], fapt posibil de realizat în cazul în care se apelează la brichetele din carbură de siliciu metalurgică (v. fig. 15.9).

Se remarcă faptul că există o strînsă corelație între efectul de dezoxidare a SiC în cubilou și gradul de desulfurare a fontei. Mai mult decît atît, există semnalări că a fost posibilă mărirea bazicității zgurei, în cubiloul acid, pînă la $B=1{,}45$, fără să se înregistreze erodări avansate ale căptușelii, datorită conținutului scăzut în FeO din zgură. O astfel de zgură are o capacitate deosebită de desulfurare.

Efectul de dezoxidare a SiC în cubilou are deci acțiune și asupra celui de desulfurare, care are loc, astfel:

$$\begin{array}{l} CaO+FeS\longrightarrow CaS+FeO \\ FeO+SiC\longrightarrow Fe+Si+CO \\ \hline CaO+FeS+SiC\longrightarrow CaS+Fe+Si+CO \end{array} \qquad (3)$$

Considerăm că apelarea la brichetele de carbură de siliciu metalurgică de tipul SiC—BC, produse la I.P.R. „9 MAI" Turda, ar putea constitui o soluție de micșorare a conținutului de sulf al fontelor destul de ridicat în condițiile cocsului de turnătorie, bogat în sulf.

Efectul de aliere cu siliciu și carbon. În afara acțiunii de dezoxidare și în cubilou carbura de siliciu metalurgică poate constitui o sursă, îndeosebi de siliciu.

Pierderile de siliciu prin ardere sînt relativ scăzute (25—30%), doar în mică măsură mai mari față de cele determinate la ferosiliciul FeSi 25, unde s-au determinat valori de cca 15% [4], dar sînt net inferioare față de FeSi 60—75, la utilizarea căruia ating valori de 30—50%.

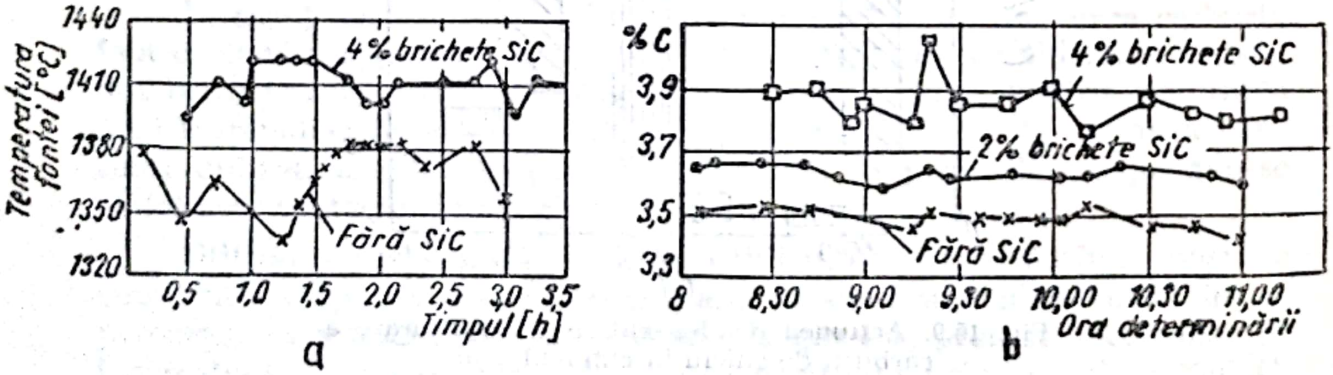


Fig. 15.10. Creșterea temperaturii fontei (*a*) și a conținutului de carbon (*b*) la utilizarea brichetelor de SiC în cubilou.

Prin utilizarea carburii de siliciu metalurgice, nu numai siliciul poate fi mărit, ci și carbonul, concomitent cu creșterea temperaturii fontei (fig. 15.10) [4].

Scanned with OKEN Scanner

În prezent se consideră că utilizarea unor cantități mari de fier vechi în cubilourile cu aer cald, în proporție de 50—60% [8] sau chiar 60—75% [6] implică, obligatoriu, un adaos de carbură de siliciu metalurgică. Recenta tehnologie de elaborare a fontelor în cubilouri cu plasmă, considerate a fi agregate de elaborare a viitorului, se bazează de asemenea pe utilizarea în încărcătură a brichetelor de carbură de siliciu [13].

4. Calitatea fontelor la utilizarea carburii de siliciu metalurgice

Acțiunea de modificare grafitizantă. Carbura de siliciu metalurgică este un material utilizat tot mai mult la modificarea grafitizantă a fontelor, înlocuind cu succes îndeosebi ferosiliciul. A fost arătat faptul că în cazul utilizării SiC, aportul de aluminiu este foarte scăzut, ceea ce constituie un avantaj deosebit în raport cu Fe-Si, care creează tot mai multe probleme, datorită favorizării porozității hidrogenului.

S-a arătat că, fiecare granulă de SiC este acoperită cu o peliculă protectoare de SiO_2 care face ca acest produs să aibe o capacitate mai scăzută de dizolvare. Acest lucru creează condiții favorabile păstrării un timp mai îndelungat în fonta lichidă a germenilor de grafitizare creați pe această cale, capabili să supraviețuiască pînă la solidificarea fontei în formă. Această comportare inedită a carburii de siliciu metalurgice denumită „preinoculare", o deosebește esențial de FeSi, a cărei acțiune modificatoare se realizează numai în cazul în care se introduce în fonta lichidă cu puțin timp înainte de turnare, respectiv după evacuarea din cuptor. Din acest motiv Fe-Si introdus în cuptor pentru corectarea compoziției chimice, nu manifestă efect modificator.

Un studiu amănunțit al acțiunii modificatoare a SiC este efectuat în lucrarea [16], comparativ cu cea manifestată de Fe-Si și Si. Au fost luate în considerare categoriile distincte de carbură de siliciu rezultate din procesul de producție (v. fig. 16.1 și fig. 16.2). Carbura de siliciu de înaltă temperatură, cristalizată hexagonal și romboedric (SiCα) — conținînd peste 98% SiC, carbura de siliciu poroasă, amorfă, așa-zisă metalurgică (SiC β — cristalizare cubică), cu un conținut de 90% SiC, precum și cea provenită din stratul superior (siloxicon) ce conține carbură cristalizată cubic, material nereacționat (SiO_2, C), precum și multe impurități (SiC 84) (tabelul 15.9). Toate aceste materiale au fost introduse în fonta lichidă, în cuptorul de elaborare, urmărindu-se capacitatea de dizolvare, schimbarea curbelor de răcire și a structurii fontelor turnate. În cazul SiC 98 au fost utilizate și sortimente oxidate artificial, astfel încît să crească grosimea stratului superficial protector de SiO_2. În fig. 15.11 sînt prezentate rezultatele obținute referitoare la curbele de răcire și tipul grafitului din structură, iar în fig. 16.12 influența materialelor modificatoare asupra temperaturii lichidus —T_N (germinarea austenitei), numărului de celule eutectice și subrăcirii eutectice [16]. Se pot remarca următoarele:

a) FeSi 75, SiC 98, Si se dizolvă în topitură, în cazul în care nu s-a format un strat de SiO_2;

b) SiC 84 și SiC 98 oxidată (materiale cu un strat mai „gros" de SiO_2) au o viteză scăzută de dizolvare în fontă;

Scanned with OKEN Scanner

Tabelul 15.9. **Compoziție chimică a mai multor material**

Material	Compoziția					
	SiC	C liber	Si liber	SiO_2	Al dizolvat	Al (Al_2O_3)
SiC 98	98,5	0,23	0,62	0,39	0,04	0,01
SiC 90	89,8	3,49	0,14	4,30	0,18	0,47
SiC 84	83,7	5,06	0,06	7,90	0,30	0,20
FeSi 75	—	0,05	69,7	—	0,19	
Si 99,99	—	—	99,99	—	—	—

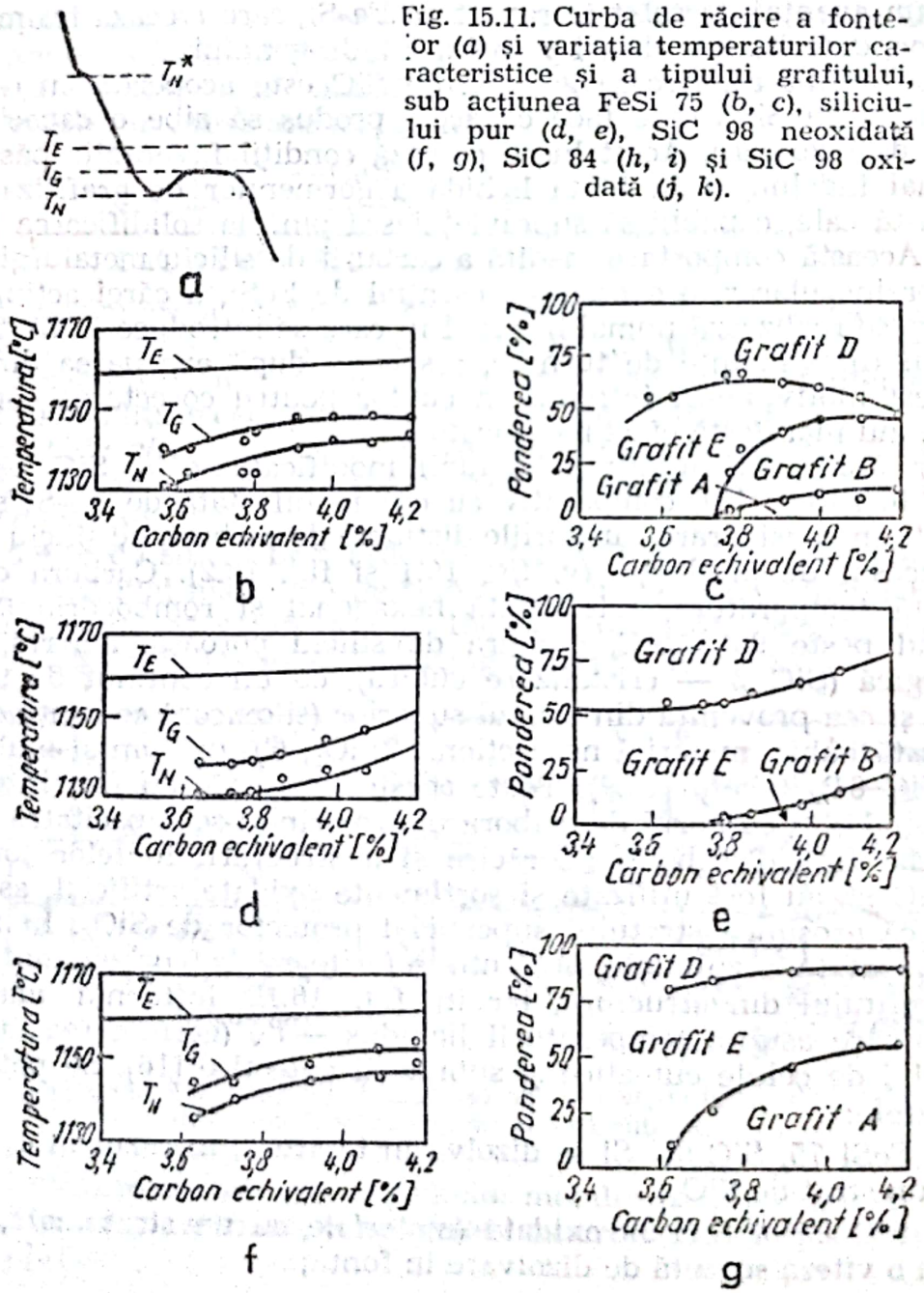
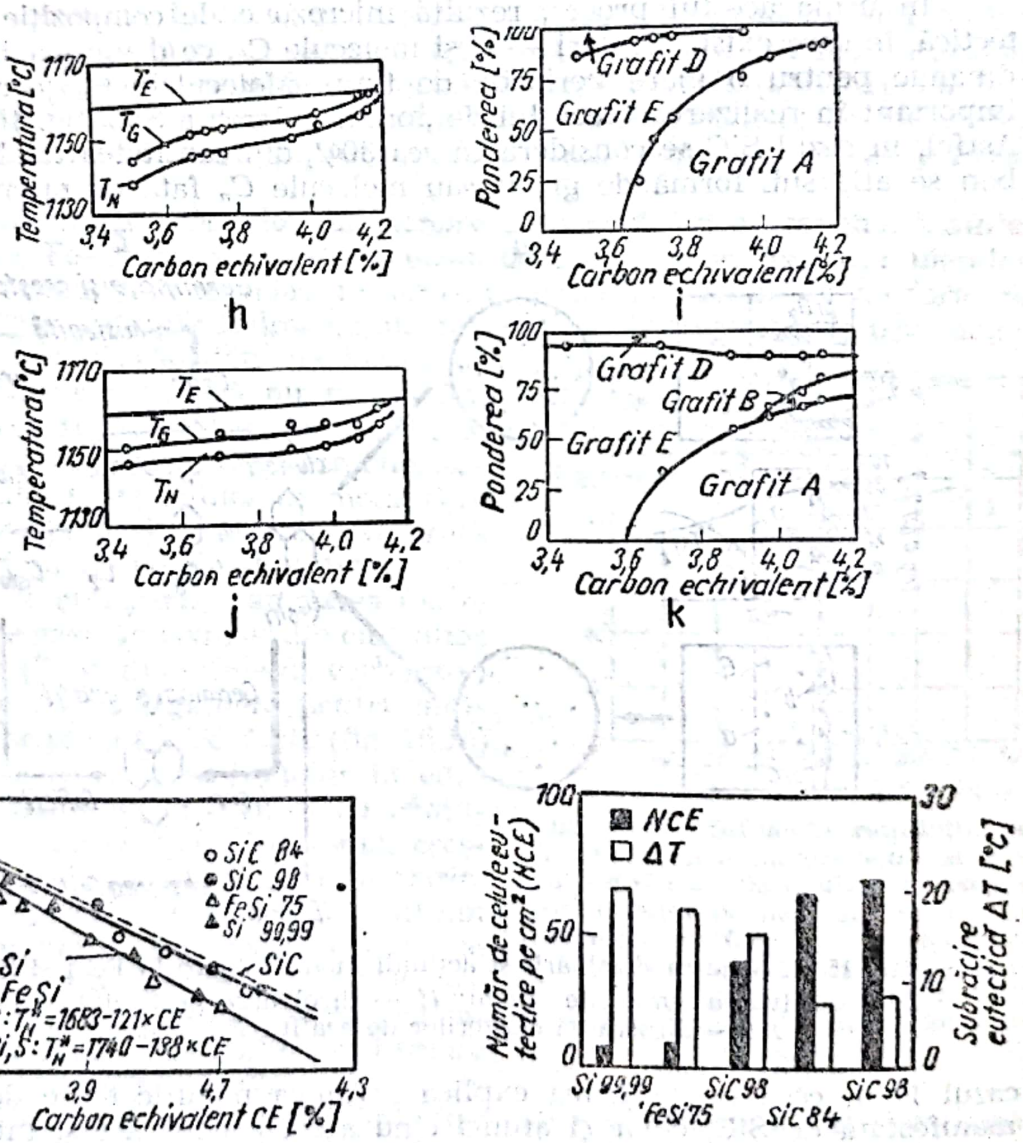


Fig. 15.11. Curba de răcire a fonte-lor (*a*) și variația temperaturilor caracteristice și a tipului grafitului, sub acțiunea FeSi 75 (*b*, *c*), siliciului pur (*d*, *e*), SiC 98 neoxidată (*f*, *g*), SiC 84 (*h*, *i*) și SiC 98 oxidată (*j*, *k*).

e pe baza de siliciu utilizabile la producerea fontei

chimică %						Observații
Ca	Mg	S	Ti	N_2	H_2	
0,00	0,00	0,01	0,02	0,01	0,01	Utilizare în industria materialelor abrazive și refractare
0,31	0,02	0,09	0,05	0,06	0,01	Carbură metalurgică
0,31	0,04	0,13	0,04	0,06	0,01	Idem
0,63	0,00	0,01	0,01	0,01	0,01	Industrial
—	—	—	—	—	—	Siliciu pur



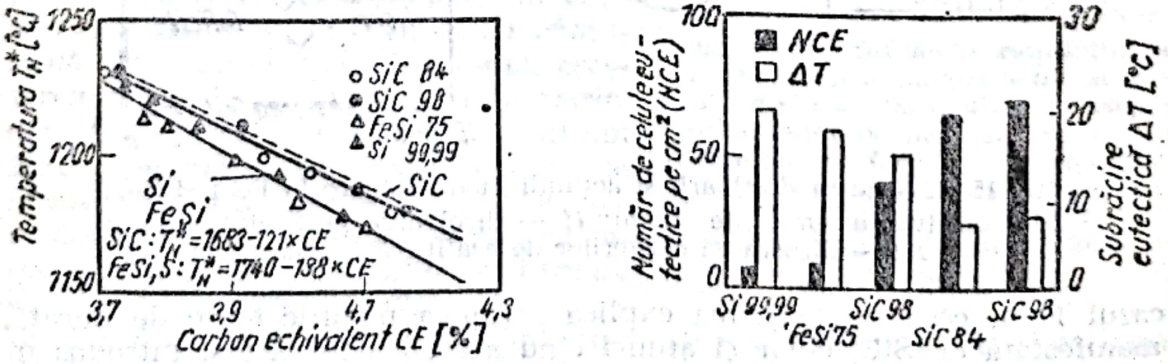


Fig. 15.12. Influența materialelor silicioase asupra temperaturii de germinare a austenitei (T_N^*) (*a*) și asupra numărului de celule eutectice (*NCE*) și subrăcirii eutectice (ΔT) (*b*) (în cazul b, $CE = 4{,}0\%$).

Scanned with OKEN Scanner

c) dizolvarea SiC este micșorată la creșterea carbonului echivalent, în timp ce dizolvarea FeSi și Si nu este influențată.

Cele mai scăzute valori ale subrăcirii la solidificarea eutectică au fost obținute în cazul utilizării SiC 84 și SiC 98 oxidată, cînd s-a înregistrat și cel mai mare număr de celule eutectice.

În cazul în care, după adaosurile de FeSi, SiC și Si, fonta a fost supraîncălzită la 1 500°C (3 min) și răcită rapid, doar în cazul utilizării SiC 84 structura a conținut separări de grafit, ceea ce dovedește germinarea mai ușoară a grafitului în acest caz.

Se consideră că au loc reacțiile:

$$SiC + Fe \longrightarrow (Si)_{(Fe)} + \text{grafit} \qquad (4)$$

$$\text{Grafit} + Fe \longrightarrow C_{(Fe)} \qquad (5)$$

Grafitul format în urma dizolvării SiC se poate dizolva rapid în topitură, funcție de temperatură și conținutul de carbon. Creșterea conținutului de carbon determină reducerea forței necesare pentru dizolvarea SiC.

În urma acestui proces, rezultă microzone de compoziție hipereutectică, în care există clasteri — C și molecule C_n, ce devin stabile termodinamic pentru o mare perioadă de timp. Moleculele C_n joacă un rol important în realizarea efectului de „preinoculare" a SiC (fig. 15.13) [16]. Astfel, în cazul SiC se consideră că cca 30% din cantitatea totală de carbon se află sub formă de grafit sau molecule C_n față de numai 5% în

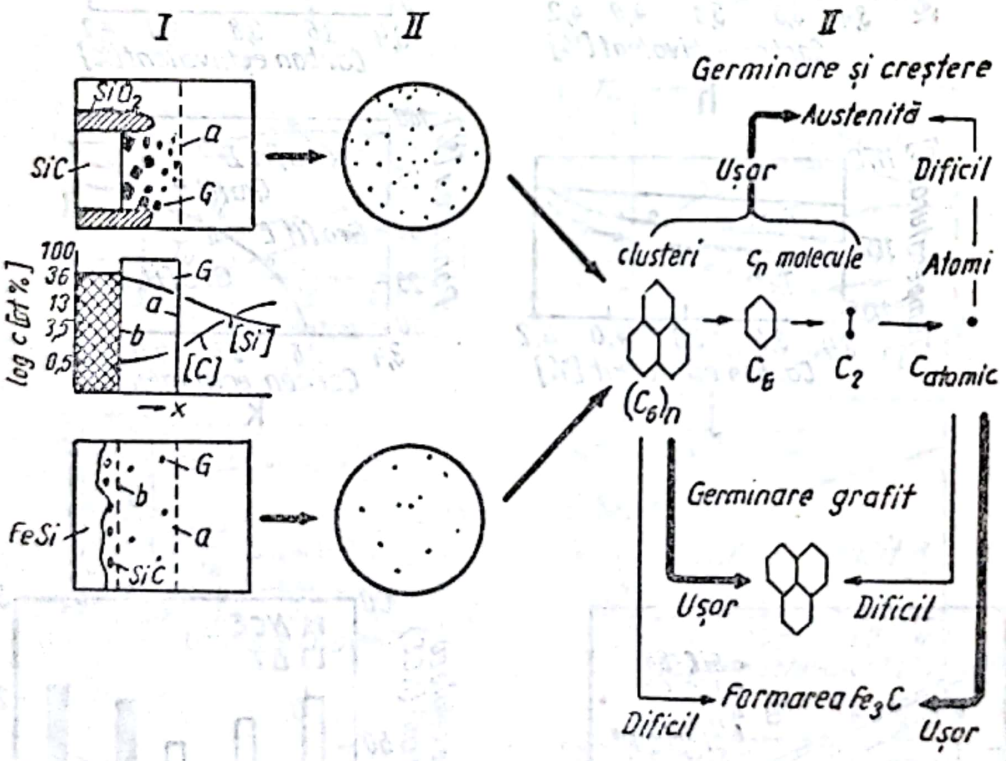


Fig. 15.13. Schema dizolvării și acțiunii modificatoare la FeSi și SiC: *I* — dizolvarea sursei de siliciu; *II* — dizolvarea grafitului format; *III* — dizolvarea clasterilor de grafit; *G* — grafit.

cazul FeSi, ceea ce ar putea explica acțiunea modificatoare de durată, manifestată de SiC, chiar și atunci cînd acest produs a fost introdus în cuptor.

În cazul utilizării celor două materiale au loc procesele (v. fig. 15.13):

1) SiC⟶dizolvare, formare grafit, difuzie de carbon și siliciu.

Scanned with OKEN Scanner

2) FeSi → dizolvare, formare SiC, precipitare grafit, difuzie carbon și siliciu.

Așa cum se observă în fig. 15.13, are loc difuzia Si la stînga liniei *b*, formarea SiC la stînga liniei *a* și apoi precipitarea grafitului.

În lucrarea [12] se face și o comparație între acțiunea modificatoare a Fe-Si cu conținuturi diferite de Sr, Ca, Ti și cea a carburii de siliciu, în condițiile variației conținutului de sulf al fontei elaborate în cuptoare cu inducție (0,01—0,096% S) și a duratei de menținere după modificare.

Se remarcă faptul că în cazul tratării cu carbură de siliciu s-a înregistrat cea mai mică scădere a rezistenței fontei, ca urmare a menținerii îndelungate după modificare, durabilitatea efectului modificator fiind deci mai mare decît în cazul Fe-Si.

În lucrarea [5] se evidențiază acțiunea de „preinoculare" a adaosurilor de SiC în agregatele de elaborare se arată că nu mai este necesară o modificare grafitizantă ulterioară în oală, fiind cazuri în care renunțarea la modificarea cu Fe-Si a contribuit la îmbunătățirea calității fontei.

De exemplu, în cazul în care fonta a fost elaborată într-un cuptor electric cu arc, din tablă de oțel, cu utilizarea Fe-Si, cu modificare în oală, tot cu Fe-Si, rebutul a fost ridicat datorită porozităților. Acest defect a dispărut în cazul în care Fe-Si din cuptor a fost înlocuit cu SiC și s-a renunțat la modificarea grafitizantă din oală, fonta fiind de calitate corespunzătoare.

Diminuarea defectelor de turnare. Așa cum s-a arătat mai înainte, înlocuirea Fe-Si cu SiC are un efect deosebit asupra calității pieselor turnate contribuind în mare măsură la micșorarea tendinței de formare a porozității datorate hidrogenului, precum și a porozității de contracție. Obținerea unei cantități moderate de celule eutectice asigură nu numai îmbunătățirea rezistenței mecanice, dar și diminuarea porozității de contracție, defect specific tehnologiilor de modificare la care se ajunge la creșterea exagerată a numărului de celule eutectice.

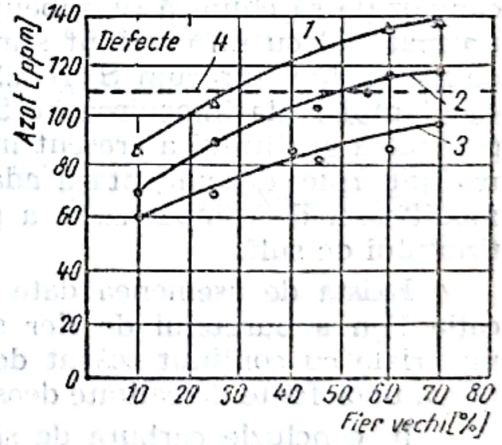


Fig. 15.14. Influența cantității de fier vechi și a materialelor de carburare și corecție a siliciului asupra conținutului de azot al fontei și a tendinței de formare a defectelor: *1* — cocs petrol+FeSi 75; *2* — grafit+FeSi 75; *3* — grafit+SiC; *4* — limita apariției defectelor (porozități).

Pe de altă parte, cantitatea foarte scăzută de gaze, în comparație cu a altor materiale (FeSi, materiale de carburare) constituie un alt argument pentru obținerea unor piese fără defecte (fig. 15.14) [5, 14]. La elaborarea fontelor în cuptoare cu inducție cu creuzet cu căptușeală acidă și de joasă frecvență, creșterea ponderii fierului vechi în încărcătură, determină mărirea conținutului de azot al fontei. La aceasta contribuie în mare măsură și materialele de adaos, respectiv cele de carburare și pentru corecția siliciului. Defectele de turnare sînt frecvente în cazul utilizării de cocs de petrol și FeSi 75, lipsind numai în cazul utilizării de grafit și carbură de siliciu metalurgică (v. fig. 15.14).

În producția de automobile din Anglia au fost obținute rezultate deosebite în cazul în care cocsul de petrol a fost înlocuit cu SiC, parțial

Scanned with OKEN Scanner

sau total, în care caz scăderea rebutului s-a datorat în principal diminuării conținutului de azot (tabelul 15.10) [5, 15]. Se apreciază că această înlocuire a fost rentabilă, deși cocsul de petrol avea un cost mai scăzut, hotărîtor fiind îmbunătățirea calității fontelor și micșorarea rebutului.

Tabelul 15.10 **Componența și compoziția chimică a încărcăturii cuptorului cu inducție, la elaborarea fontelor cenușii pentru automobile**

Componentul încărcăturii	Cantitate		Carbon, %		Siliciu, %		Sulf, %		Azot, %	
	kg	%	În material	În șarjă	În material	În șarjă	În material	În șarjă	În material	În șarjă
Recirculat	1 150	27,77	3,58	0,9942	2,60	0,722	0,055	0,015	0,0055	0,0015
Fontă nouă	600	14,49	3,80	0,5506	2,40	0,347	0,050	0,007	0,0050	0,0008
Deșeuri oțel	2 250	54,33	0,20	0,1087	0,10	0,054	0,030	0,016	0,0040	0,002
Carbură de siliciu metalurgică (0—9 mm)	91	2,20	30,0	0,5720	63,0	1,232	0,025	0,001	0,03	0,0006
Cocs de petrol (3—9 mm)	50	1,21	98,0	1,0285	—	—	1,5	0,015	0,60	0,0036
TOTAL	4 141	100,00	—	3,254	—	2,355	—	0,054	—	0,0085

Fonta finală: 3,55—3,6% C, 2,55—2,65% Si, 0,05—0,06% S, 0,007—0,008% N, 0,6% Mn, 0,03—0,04% P, 0,2—0,25% Cr.

Cocs de petrol, 85—99% C. Carbura de siliciu metalurgică: 26—30% C, 56—63% Si.

Carbura de siliciu metalurgică, adaos util în fabricația Fgn. Prin compoziția sa chimică (v. tabelul 15.3) carbura de siliciu metalurgică este un material cu un conținut scăzut de elemente cu acțiune nocivă pentru obținerea Fgn (precum S, N, elemente antinodulizante etc.). S-a evidențiat faptul că la înlocuirea Fe-Si cu peste 2% Al cu SiC (0,2% Al) compactitatea grafitului a crescut în mare măsură [5]. Pe de altă parte acțiunea puternic dezoxidantă a adaosului influențează pozitiv procesul de modificare, de compactizare a grafitului, ca și cea de diminuare a conținutului de sulf.

Există de asemenea date care atestă faptul că utilizarea în fabricația Fgn a buretelui de fier și a carburii de siliciu metalurgice, două materiale cu conținut scăzut de elemente însoțitoare, contribuie la obținerea unor fonte de calitate deosebită [5].

În concluzie carbura de siliciu metalurgică la fabricarea fontei are următoarele efecte favorabile:

— acționează ca un material puternic dezoxidant;
— ajută la eliminarea sulfului;
— poate fi utilizată fără probleme ca material de aliere cu carbon și în special cu siliciu;
— se poate utiliza în toate tehnologiile de obținere a fontelor (cuptoare electrice cu arc, cu inducție, cubilou), precum și la procedurile de tratament în oală;
— este un bun inoculant;
— asigură obținerea de fonte cu un conținut minim de gaze, respectiv un procent mic de rebut;
— mărește durabilitatea refractarelor acide din cuptoare.

Scanned with OKEN Scanner

BIBLIOGRAFIE

1. ŞOFRONI, L., RIPOŞAN, I., BRABIE, V., CHIŞAMERA M. Turnarea fontei. Editura Didactică şi Pedagogică, Bucureşti, 1985.
2. * * * În: Interceram (R.F.G.), nr. 1, 1988, p. 35—39.
3. * * * Prospecte firme SIKA (Norvegia), SHOWA DENKO K.K. (Japonia), AMMI ABRAZIVI (Italia), NORTON (S.U.A.), LONZA (Elveţia).
4. KIM, V. S. ş.a. Primenenie karbida kremnia pri plavke ciuguna. În: Liteinoe Proizvodstvo, nr. 2, 1978, p. 9—10.
5. BENEKE, T. Metallurgisches Siliciumcarbid im Elektro- und Kupolofen. În: Gieserei (R.F.G.), nr. 12, 1981, p. 344—349.
6. DAHLMANN, A. Jahresübersicht Kupolofen. În: Giesserei (R.F.G.), nr. 12, 1982, p. 345—351.
7. * * * În: Fondeur d'Ajourd'hui, nr. 312, 1980, p. 13—14.
8. KLEŢKIN, I. G. Vagranocinaia plavka ciuguna v liteinîh ţehah za rubejom. În: Liteinoe Proizvostvo, nr. 12, 1981, p. 5—7.
9. HENNING A. Alloy materials for cupola melting; In: Modern Casting (S.U.A.), nr. 8/1981, p. 43—46.
10. HÖHLE L. Jahresübersicht Kupolofen; În: Giesserei (R.F.G.), nr. 11, 1984, p. 451—461.
11. CENGEL, P., MIHOK, L. Niekotore poznatky o vyskute a rozmiestneni nekovovych vtrusenin v odliatkoch ferosilicia; În: Slevarenstvi (R.S.C.), nr. 5, 1985, p. 187—189.
12. DOELMANN, R. L. ş.a. The benefication of inoculated cast irons with silicon carbide as a major source of silicon and carbon. În: AFS Transactions (S.U.A.), vol. 88, 1980, p. 787—804.
13. RIPOŞAN, I. Cubiloul cu plasmă şi producerea fontelor de înaltă calitate din materiale recuperabile, TCMM nr. 6. Bucureşti, Editura Tehnică, 1989, p. 74—94.
14. CASPERS, K. H. Zum Einfluss von Stahlschrott und Gattierungszusatzen im Induktionsofen auf die Fehlerreigung von Gusseisen. În: Giesserei, nr. 8, 1975, p. 186—189.
15. COATES, R. R. Calitatea fontelor în producţia de automobile. În: The British Foundryman, nr. 8, 1979, p. 178—196.
16. SCHUBERT, W. D. ş.a. Influence of SiC additions on the microstructure of Gray Cast Iron. În: The Physical Metallurgy of Cast Iron, Elsevier Science Publishing Co, New York 1985, p. 119—128.
17. LOPER C. R. ş.a. Graphite inoculants for Gray Cast Iron. În: The Physical Metallurgy of Cast Iron, Elsevier Science Publishing Co, New York, 1985, p. 89—98.

Scanned with OKEN Scanner

TM
CM

V

INGINERIA CALITĂȚII
FIABILITATE

Scanned with OKEN Scanner

16.
Asigurarea calității la firmele de vîrf din SUA și Japonia*)

L. Biţok

În condițiile actuale ale concurenței, pentru asigurarea succesului pe piața mondială, factorul calitate este hotărîtor.

Firmele de vîrf din construcția de mașini, din Japonia și S.U.A., au obținut succese remarcabile în controlul calității produselor fabricate. În soluționarea problemelor calității, aceste companii pun în prim plan principiul abordării sistemice complexe. În acest context, se ține seama de faptul că beneficiarii produselor din domeniul construcției de mașini, în alegerea tehnicii lor, acordă importanță, în primul rînd, unor indicatori de tipul: fiabilitate, simplitate, deservire tehnică ușoară, economie de energie, securitate și ușurință în exploatare și, de asemenea, un nivel obișnuit al cheltuielilor specifice „totale" (incluzînd cheltuielile de exploatare), adică al cheltuielilor pe întreaga durată de funcționare a mașinii, raportate la unitatea volumului de lucru realizat.

În anii 70, firma Hewlet-Packard acorda o atenție deosebită fiabilității produselor, pe durata de funcționare în garanție a acestora, care era destul de limitată. Ca urmare, mărimea cheltuielilor pentru compensarea defectării produselor, în perioada de garanție, depășea pe aceea a cîștigurilor. Ulterior, în cîteva filiale ale firmei, au demarat lucrările în vederea creșterii fiabilității produselor, începînd din etapa de elaborare. Aceasta a permis reducerea cheltuielilor firmei pe durata de garanție a produselor.

Pe baza experienței pozitive a filialei, în fața conducerii firmei, s-a pus problema creșterii fiabilității produselor de 10 ori, în decursul următorilor 10 ani.

În 1979, firma trimite în Japonia un grup de muncitori, pentru a cunoaște experiența de lucru a o serie de firme japoneze, privind asigurarea unui înalt nivel de calitate, fiabilitate și productivitate. Cheia realizării acestui scop s-a dovedit a fi o înaltă calitate a semifabricatelor și pieselor de schimb. Pentru firmele japoneze, controlul calității, productivității și al rezervelor materiale de producție formează un singur sistem, ceea ce conduce la reducerea costului produselor.

O atenție deosebită se acordă calității pieselor de schimb, eliminării defectelor în toate fazele de prelucrare și respectării momentului de avans al pieselor și semifabricatelor pentru operația următoare.

---

* Traducere, de Daniela Asvadurov (ICTCM), după „Problemî Maşinostroenia i Avtomatizaţii" CAER, nr. 20, 1988, pag. 69—73.

Scanned with OKEN Scanner

În 1980, la firma Hewlet-Packard, a avut loc un seminar al conducerii pe probleme de calitate. Analizînd rezultatele ce s-ar putea obține, prin aplicarea experienței japoneze la întreprinderile firmei, s-a arătat că ar putea fi reduse cu o treime cheltuielile pentru fabricarea produselor, cheltuielile din timpul funcționării în garanție — de două ori, iar profitul firmei ar putea fi dublat. Dacă la fel s-ar proceda și în etapa de fabricare a noilor produse, productivitatea muncii ar putea crește și s-ar putea realiza noile modele ale tehnicii, nu în trei, ci în doi ani, timp în care, ritmul de creștere al profitului firmei s-ar dubla.

S-a hotărît ca realizarea noilor metode să înceapă prin experimente. În 1980, în una din filialele firmei din statul Colorado, a început să funcționeze programul KEY. Scopul acestui program era acela de a demonstra că, într-adevăr, calitatea reprezintă cheia asigurării simultane a unui cost al producției scăzut, a unei înalte productivități, a unor cheltuieli materiale de producție reduse, și a unei înalte fiabilități a produselor.

Firma a început să stabilească în mod sistematic frecvența de apariție a defectelor în procesul de producție. Indicatorii de fiabilitate a produselor fabricate au crescut de cinci ori, cu toate că, și anterior, produsele firmei erau cotate drept destul de fiabile.

În 1982, a început un experiment analog într-o altă sucursală a firmei. Noul program prevedea realizarea unui tip de produse, mai complicat decît cel prevăzut în programul KEY. Rezultatele totale obținute, prin realizarea acestui program, au fost și ele favorabile. S-a reușit să se reducă numărul de piese de 3,5 ori, comparativ cu produsele generației anterioare, numărul de erori de montaj, de 15 ori, durata ciclului de producție, de 7 ori, costul producției de 2 ori. Pe suprafața de producție, de 3 ori mai mică, decît era necesară anterior, s-au fabricat de 3 ori mai multe produse. Profitul, în urma valorificării produselor, a crescut de 2 ori, deși prețul de livrare al acestora s-a redus cu 25%. Indicatorii de creștere a fiabilității produselor au crescut de 5 ori.

Rezultate cu mult mai sugestive s-au obținut prin aplicarea acestei concepții la filiala firmei, Yokogawo-Hewlet-Packard. Ca urmare a generalizării acestei experiențe, s-a constatat că aplicarea metodei „luptă pentru calitate" este valabilă pentru întreaga producție a firmei. Aspectele problemei nu se limitează numai la lupta pentru creșterea fiabilității produselor pe durata lor de funcționare în garanție, ci vizează și asigurarea de programe, documentație și pregătire, cuprinzînd toate procesele de producție ale firmei. Metoda se aplică în întreaga activitate a firmei, prin aducerea factorului calitate în centrul atenției, ca element strategic. Această abordare poartă denumirea de *TQC* (Total Quality Control), adică „control total al calității" și presupune perfecționarea continuă a tuturor proceselor, prin participarea tuturor compartimentelor și muncitorilor.

S-au stabilit opt factori hotărîtori pentru succesul abordării *TQC* și anume:

• răspunderea personală a fiecărui șef, privind aplicarea acestei metode în sectorul său; • necesitatea existenței resurselor stabilite (atît financiare, cît și de personal), în vederea rezolvării problemelor ce apar; atragerea consultanților. Un rol important în rezolvarea problemei calității, îl au șefii de lucrări din sfera calității, care, în aceste condiții, nu controlează numai calitatea producției, ci contribuie și la efectuarea analizei și perfecționării procesului de producție;

Scanned with OKEN Scanner

• necesitatea pregătirii întregului personal pentru receptarea noii abordări, începînd cu cele mai înalte nivele ale conducerii și pînă la muncitori, întrucît procesul de aplicare a noii abordări este deosebit de greu, cere o disciplină desăvîrșită în producție și un control permanent. • stimularea muncitorilor pentru realizările obținute în creșterea calității. • planificarea îmbunătățirii calității, care are loc după indicatorii de calitate stabiliți ai produselor, proceselor sau lucrărilor de deservire. • desfășurarea analizei calității în cadrul firmei; • recompensare; • utilizarea unui sistem eficient de informații, care să permită cunoașterea părerii beneficiarilor despre produsele firmei și lucrările sale de deservire.

La crearea sau modernizarea unei mașini, în întreprinderile firmelor japoneze, sistemul complex de control al calității include soluționarea următoarelor probleme: • stabilirea listei indicatorilor de calitate necesari; în acest caz, sursele principale de informații le reprezintă nu numai aprecierile beneficiarilor, ci și informația despre funcționarea mașinii, despre livrarea pieselor de schimb, reparațiile efectuate de beneficiar, lucrările de deservire tehnică și rezultatele diagnosticului tehnic al mașinilor la locul exploatării; pe de altă parte, cerințele față de indicatorii de calitate se stabilesc prin sisteme de documentație standardizată și a altui tip de documentație tehnico-normativă; • elaborarea documentației tehnice pe produs, cu examinarea diferitelor variante; o atenție deosebită, în cazul acesta se acordă tehnologicității unităților de montaj individuale și creșterii nivelului de standardizare, pentru ca, în timpul reparației mașinii, piesele, subansamblele și agregatele uzate, să poată fi repede înlocuite cu altele noi. • examinarea variantelor de proiect, de către toate serviciile participante în crearea, vînzarea și deservirea mașinii elaborate; • elaborarea procesului tehnologic, metodelor de încercare și control în timpul fabricării; • fabricarea modelelor experimentale; • testarea modelelor experimentale; probe de stand ale subansamblelor și pieselor; încercările se desfășoară după programe speciale, cu utilizarea unui echipament modern și a calculatorului, ceea ce permite accelerarea testării și alcătuirea prognozei defecțiunilor posibile; • introducerea modificărilor necesare în documentația tehnică, pe baza rezultatelor obținute în urma probelor; • fabricarea seriei zero a mașinii; • prezentarea aprecierilor primite de la beneficiari asupra rezultatelor funcționării prototipurilor; • încercări pe stand pentru durabilitate a subansamblelor; • pregătirea livrării în serie a mașinilor; • controlul mașinilor aflate în exploatare; • analiza informației primite de la beneficiari; cu ajutorul calculatorului, se sistematizează datele, privind toate defectele și deficiențele pe tipuri, ani, loturi de produse etc.; • modernizarea continuă a mașinilor intrate în producția de serie, pe baza informațiilor primite de la beneficiar și în urma serviciilor de deservire ulterioară a livrării.

În etapa stabilirii indicatorilor de calitate se utilizează informații privind mașinile analoage fabricate de alte firme, de asemenea, date privind tendințele de evoluție a mașinilor, utilizate în complet cu mașinile analoage. De primă însemnătate este utilizarea noilor idei tehnice, care apar în decursul cercetărilor și studiilor elaborate.

Noile idei și studii sînt examinate, în cadrul firmei, de o comisie specială, în componența căreia intră reprezentanții tuturor serviciilor interesate. Dacă este necesar, la ședința comisiei sînt invitați reprezen-

Scanned with OKEN Scanner

tanții firmelor furnizoare de piese de schimb și echipare tehnologică, beneficiari etc.

Cerința cea mai importantă, pe care o impune concurența, constă în aceea că originalitatea soluției de proiectare, rezultatul efortului de creație al elaboratorilor trebuie, în mod necesar, îmbinate cu o înaltă calitate a producției, fapt ce poate fi realizat prin utilizarea metodelor optime de fabricare și a echipamentului tehnologic modern, în contextul dotării locurilor de muncă cu mijloace de control eficiente.

Astfel, în întreprinderile firmei Hitachi, locurile de muncă ale sudorilor de piese pentru excavatoare sînt echipate cu defectoscoape pentru verificarea calității îmbinărilor prin sudare.

O tehnică de defectoscopie similară se utilizează pentru descoperirea fisurilor în piesele supuse prelucrării termice.

Defectele care apar din vina muncitorilor formează o categorie aparte. Împotriva lor se luptă, atît pe calea ridicării răspunderii individuale a muncitorilor, cît și prin utilizarea unui echipament nou și, în primul rînd, a mașinilor cu comandă numerică, a robotizării și automatizării producției. Astfel, în cea mai mare uzină a firmei Komatsu din orașul Avadzu, pînă la 85% din parcul de mașini sînt mașini cu comandă numerică sau complexe robotizate. Reducerea numărului de defecte ce apar din vina muncitorilor se realizează, de asemenea, prin antrenarea acestora în cercurile calității. Aceste cercuri au apărut în Japonia în 1950, în prezent existînd un milion de astfel de cercuri. Un aspect important al acestui sistem, îl reprezintă creșterea numărului de propuneri de raționalizare, primite de la muncitori, ingineri sau tehnicieni.

Pentru operațiile de control, firmele japoneze utilizează pe scară largă tehnica microprocesoarelor. Pentru piesele cu configurație complexă, care necesită prelucrare mecanică de înaltă precizie, se utilizează posturi de control automat al dimensiunilor, echipate cu dispozitive de măsură stereoscopice.

Datorită automatizării dispozitivelor, de încercare și control, s-a reușit să se reducă în mod semnificativ rebutul, deoarece, evidențierea defectelor în procesul de fabricație, înregistrarea acestora și prelucrarea statistică ulterioară permit nu numai stabilirea cauzei de apariție a defectelor, ci și luarea de măsuri la timp în scopul înlăturării acestora.

O importanță deosebită pentru asigurarea fabricării unor produse de calitate îl are controlul calității pieselor de schimb care se realizează, atît sub formă de control de intrare (adesea total), cît și sub forma controlului procesului tehnologic, la întreprinderea producătoare. Totuși, la firmele mari, cum este Komatsu, majoritatea pieselor, subansamblelor și mecanismelor mașinilor se fabrică în uzinele proprii, specializate. Firmele subfurnizoare au, de obicei, în sarcină, producerea subansamblelor și pieselor simple sau mai puțin importante.

În procesul de fabricare a produselor se practică tipurile de control cum ar fi cel operațional și statistic. Pe lîngă dimensiuni și acuratețea prelucrării, se verifică gradul de impurificare a lichidului de lucru în hidroagregatele care au suportat proba de funcționare, nivelul de zgomot, încălzire etc. În uzinele firmei Komatsu, odată cu piesa (și subansamblul) se transmite, de la un post la altul, fișa de control al calității, cu ștampila obligatorie a muncitorului care a executat operația.

Tehnologia de fabricație, care urmează a fi aplicată în producția de serie se verifică și se perfecționează în stadiul de fabricare a modelelor experimentale. Acestea se supun probelor după un program spe-

Scanned with OKEN Scanner

cial pentru confirmarea caracteristicilor tehnice și precizarea indicatorilor de rezistență. În afară de acestea, se fac încercări de durabilitate; mașina funcționează în condiții de exploatare timp de 24 h, sub sarcini maxime, timp de cîteva luni.

Paralel se fac încercări pe stand ale instalației de forță și ale subansamblelor și mecanismelor mai importante: sistem hidraulic, elemente de transmisie etc. Regimul de sarcină și de temperatură se dau pe baza datelor condițiilor reale de exploatare. Pentru probele de stand este larg utilizată aparatura computerizată. După încheierea programului stabilit, încercările pe stand se continuă pînă la distrugerea mașinilor, în vederea stabilirii fiabilității lor, pentru subansamblele principale.

După expedierea la beneficiar a lotului experimental de mașini, acestea sînt puse sub observare, în vederea stabilirii cerințelor concrete ale beneficiarului, de care se va ține cont în timpul pregătirii producției de serie.

Mașinile de serie, care au ajuns pe piață, se află sub observarea subsecțiilor de deservire tehnică ale firmei producătoare. Pentru fiecare mașină se face o fișă de informare, care cuprinde următoarele date: modelul mașinii, număr de uzină, termen de exploatare, denumirea subansamblului defect, caracterul defecțiunii, timpul mediu de funcționare fără deranjamente, durata medie a întreruperilor în funcționare, timpul mediu de funcționare pînă la revizie, frecvența cu care se repetă deranjamentele sau deteriorările. Fișa de informare este o verigă în legătura inversă între producător și beneficiar, întrucît, pe baza informației cuprinse în aceasta, în etapa de modernizare, se introduc în construcția de mașini modificările corespunzătoare.

Independent de avarii sau deteriorări, specialiștii în deservirea tehnică culeg datele, privind starea și capacitatea de funcționare a mașinilor exploatate, cu utilizarea aparatelor de diagnosticare. Utilizarea aparatelor de diagnosticare oferă posibilitatea de a executa deservirea preventivă și revizia mașinilor, pînă la defectarea subansamblelor și pieselor uzate. De aceea, revizia mașinii se realizează numai la necesitate și, de regulă, după metoda revizie subansamblu-agregat, ceea ce permite restabilirea capacității de funcționare a mașinii, cu cheltuieli minime.

Sistemul de control al calității, care funcționează la firma Komatsu, din 1961, cuprinde întreaga activitate a companiei și permite asigurarea, prin ritmuri programate de creștere a productivității muncii, o înaltă calitate a produselor finale.

Perfecționarea sistemului de control complex al calității, la firma Komatsu, se realizează utilizînd metodele științifice moderne, situație în care se pune problema asigurării integrării forțelor tuturor subsecțiilor, cu orientare către rezultatul final.

De obicei, sistemul complex cuprinde în jur de 10 subsisteme funcționale, printre care: planificarea calității pe etapa pregătirii producției; planificarea, controlul și evaluarea materialelor primare; planificarea calității proceselor tehnologice; controlul și evaluarea calității produselor și proceselor în timpul fabricării; organizarea fluxului informațional, elaborarea mijloacelor de culegere și transmitere a informațiilor, pregătirea și instruirea personalului; asigurarea calității deservirii tehnice; conducerea activității de control al calității.

O atenție deosebită se acordă subsistemului de planificare a calității în etapa pregătirii producției. Aici, sarcinile principale sînt precizarea și confirmarea cerințelor față de calitatea mașinii și planificarea

Scanned with OKEN Scanner

muncii, în vederea realizării indicatorilor de calitate necesari, cu cheltuieli minime. Acest lucru, după părerea conducerii firmei, prezintă cea mai mare importanță, întrucît, în funcție de cheltuielile pentru asigurarea indicatorilor necesari de calitate, se stabilește legătura între calitatea produselor și eficiența producției. Ținînd seama de această legătură, specialiștii firmei Komatsu, interpretează noțiunea de productivitate a muncii ca fiind „numărul de produse de calitate, care pot fi cu succes valorificate, pe unitatea de resurse cheltuite". Într-o astfel de abordare, productivitatea muncii și calitatea, după părerea specialiștilor japonezi, sînt direct proporționale: cu cît nivelul calității este mai ridicat, cu atît productivitatea muncii este mai mare. În acest caz, noțiunea de calitate cuprinde calitatea produselor fabricate și calitatea fabricării, adică, optimizarea tuturor proceselor de producție cu reducerea simultană a cheltuielilor. Legarea cheltuielilor de producție de nivelul cerințelor față de indicatorii de calitate se realizează în etapa de pregătire a fabricării noilor produse.

După cum s-a mai arătat, sistemul de control al calității, care funcționează la firmele japoneze, cuprinde măsurile, realizabile, nu numai în timpul proiectării și producerii mașinilor, ci și în timpul exploatării. Acestea din urmă sînt îndreptate spre menținerea capacității de funcționare a mașinii, în timpul exploatării, prin organizarea deservirii tehnice, reviziei tehnice și dotării beneficiarului cu piese de schimb.

Cheltuielile pentru asigurarea calității, pentru firma producătoare, după evaluările specialiștilor japonezi, reprezintă 10—20% (și chiar mai mult) din suma totală a vînzărilor. Ele se împart, convențional, în trei categorii: cheltuielile pentru obținerea de informații asupra calității (controlul tehnic și probe — de la 20 la 25% din cheltuielile totale); cheltuieli pentru pregătirea și aplicarea măsurilor în vederea prevenirii defectelor (de la 5 la 15%); pierderi în urma rebutului (între 65 și 70%). Calea cea mai eficientă de reducere a cheltuielilor totale este diminuarea rebuturilor.

Principala răspundere pentru asigurarea nivelului necesar de calitate a produselor, după părerea producătorilor de mașini japonezi, o deține conducerea firmei, fără a cărei participare activă, nici un sistem complex de control al calității, fie el și, teoretic, corect elaborat, nu poate fi eficient. De aceea, problemele asigurării calității mașinilor fabricate se află permanent în centrul atenției conducerii firmelor japoneze.

Scanned with OKEN Scanner

17.
Programe de încercare a fiabilității produselor

Dr. ing. *Andrei Bănescu*
I.C.P.A.I.U.C. București

Conceptul de fiabilitate este legat de conceptele de calitate, durabilitate, mentenanță și disponibilitate. Fiecare din aceste concepte are importanță față de celelalte, în funcție de interesul beneficiarului său. Astfel, constructorul de case va fi interesat, în principal, de *durabilitatea* structurii; cei ce se ocupă cu echipamentele de încălzire și ventilație sînt interesați de *disponibilitatea* acestora; proiectanții de lifturi sînt interesați de *fiabilitatea* lor.

Fiabilitatea este atinsă cînd calitatea oferită de producător este adecvată. Beneficiarul produsului poate păstra această fiabilitate dacă: • produsul este utilizat numai în scopul și în maniera în care a fost proiectat; • produsul este întreținut în conformitate cu instrucțiunile producătorului.

Producătorul trebuie să privească fiabilitatea din punctul de vedere al beneficiarului (costuri reduse pe durata de viață a produsului), în loc să încerce să-și reducă continuu costurile sale de producție. Această politică ar sublinia importanța fiabilității pentru economia națională.

Proiectantul, fie că adoptă o proiectare revoluționară (proiectarea de noi produse) sau evoluționară (perfecționarea celor existente), este obligat să adopte o abordare sistemică a fiabilității. În cadrul acesteia, *încercările* ocupă un loc important. Ele identifică punctele slabe ale echipamentului, iar o dată descoperite acestea sînt perfecționate în proiectele viitoare.

De obicei, fiabilitatea se estimează, în cadrul încercărilor, prin două căi: • ca o probabilitate a lipsei defectelor pentru o perioadă dată; • ca *MTR, MTBF** sau reciproca lor, care este rata defectărilor.

Fiabilitatea are măsuri și metode matematice de determinare pentru a oferi baze de comparații. Acest aspect al fiabilității poate fi rezumat ca aplicație a teoriei probabilităților și statisticii matematice la problemele de defectare a echipamentelor.

Programele de încercări pentru fiabilitate au beneficii însemnate prin: susținerea programelor de asigurare a calității; îmbunătățirea proiectelor viitoarelor generații de produse; realizarea unei politici realiste și economice de piese de schimb; realizarea unor programe realiste de securitate a instalațiilor, în special în condiții de lucru care presupun risc; creșterea preciziei operațiilor de planificare a întreținerii și reparațiilor.

---

* MTR — media timpului de reparație; MTBF — media timpului de bună funcționare.

Scanned with OKEN Scanner

În cadrul programului de fiabilitate se disting mai multe faze care urmăresc ciclul de viață al echipamentului: definirea cerințelor, proiectarea și dezvoltarea, producția, punerea în funcțiune, exploatarea.

Responsabile de creșterea fiabilității unui echipament sînt toate aceste faze, pe parcursul cărora se constituie fiabilitatea echipamentului.

Vom analiza aspectele mai importante legate de fiabilitate din cadrul fiecărei faze.

1. **Definirea cerințelor.** Fiabilitatea cerută va fi influențată de factori ca: complexitate; echipamente similare; regimul de funcționare; condițiile de mediu, operare, transport și depozitare; restricții impuse; performanțe, dimensiuni, siguranță, cost; eventuale schimbări ale cerințelor pe parcursul ciclului de viață.

2. **Proiectare și dezvoltare.** Analiza de fiabilitate a proiectului include implicațiile componentelor*, materialelor și procesului tehnologic în proiect. Componentele cu fiabilitate cunoscută vor fi selectate. Se va urmări micșorarea numărului componentelor nestandardizate.

• Proiectul va fi analizat din punct de vedere al defecțiunilor posibile și efectelor acestora asupra operării întregului sistem. Se vor descoperi punctele critice de defecțiuni, iar fiecare va fi evaluat probabilistic ca apariție și efect asupra componentelor învecinate și sistemului.

• Odată ce defecțiunile critice au fost identificate, se vor căuta cauzele posibile, pornind de la nivelul sistemului, subsistemelor și componentelor (metoda arborelui defecțiunilor).

• Analiza proiectului va continua cu evaluarea cazurilor celor mai defavorabile de solicitări și se va urmări ca eforturile rezultate să se afle în limitele prevăzute de standarde și regulamente (exemplu: instrucțiuni ISCIR pentru utilaje de ridicat).

• Analiza de redundanță se va realiza pentru acele componente sau defecțiuni care ar putea deveni critice pentru protecția operațiilor, pentru costurile realizate sau pentru întreruperile de producție costisitoare, în cazul apariției unei defecțiuni.

• Factorul uman este o sursă de apariție a defecțiunilor (fiabilitate scăzută). Acestea pot fi introduse încă din faza de proiectare. Existența unor proceduri precise se impune, iar la sistemele mai evoluate se realizează controlul proiectului prin simulări, cu ajutorul programelor de calcul.

Analiza funcțiilor operatorului, a informațiilor necesare acestuia și a modului cum aceste informații sînt furnizate în timp util, poate conduce la îmbunătățirea fiabilității proiectului inițial.

• Toate modificările proiectului inițial se vor face pe baza unor proceduri sistemice de evaluare, care să asigure cuantificarea asupra fiabilității a îmbunătățirilor efectuate.

• O examinare critică a proiectului va trebui realizată de ingineri care nu au participat la faza de proiectare, acoperindu-se toate etapele ciclului de viață al produsului, în vederea descoperirii eventualelor puncte slabe.

• Analiza fiabilității echipamentului în faza de proiectare este direct legată de programe înrudite, cum sînt cele de protecția muncii și

---

* Componente — organe de mașini ce îndeplinesc funcțiuni determinate în cadrul unui subansamblu.

Scanned with OKEN Scanner

cel de întreținere. Din punct de vedere al legăturii cu programul de protecția muncii, se va urmări dacă există în proiect prevederi care să ajute la identificarea, eliminarea sau controlul neprevăzutului. Legătura cu programul de întreținere se concretizează în evaluarea accesibilității, interschimbabilității, menținerea parametrilor proiectați în timp, piesele de schimb și politica de revizii și reparații.

• Programul de încercări furnizează date foarte prețioase pentru creșterea fiabilității produsului. În cadrul acestor încercări se provoacă defecțiuni voite, care permit să se evalueze erorile proiectului.

Încercările la care produsul nu se defectează nu furnizează informații pentru îmbunătățirea proiectului, în sensul creșterii fiabilității.

Se acordă atenție specială încercărilor părților sau subansamblelor critice, totodată efectuîndu-se încercări care testează performanța, anduranța și fiabilitatea.

Încercările de fiabilitate, în faza proiectare-dezvoltare, au drept scop descoperirea surselor de defecte, analizarea și eliminarea progresivă a lor. Principalele etape în procedura încercărilor ce urmăresc creșterea fiabilității pot fi considerate: stimularea defecțiunilor latente, prin funcționarea o perioadă suficientă, într-un mediu mai sever decît cel de funcționare (dar cu caracteristici predeterminate, urmărite și menținute); diagnosticarea fiecărei defecțiuni, repararea defecțiunilor asociate și continuarea testării; analizarea fiecărei defecțiuni, pentru a determina, dacă este posibil, cauza de bază; eliminarea defecțiunilor prin măsuri corective, incluzînd pe cele de modificări ale proiectului; continuarea încercării pentru dovedirea eficacității măsurilor corective și prevenirea defecțiunilor similare la locuri nedorite; încorporarea modificărilor aprobate la alte echipamente.

Decizia asupra numărului și tipului încercărilor de fiabilitate se bazează pe informații legate de: cantitatea de subansamble încercate sau în curs de încercare; exigența cerințelor de fiabilitate corelate cu fiabilitatea previzionară; considerente economice.

Rezultatele încercărilor de fiabilitate realizate pe model experimental ar trebui să fie utilizate pentru reconsiderarea evaluărilor de fiabilitate.

Succesul testelor de fiabilitate se bazează în mare măsură pe alegerea și corectitudinea datelor ce fac obiectul analizelor. Datele se rezumă la: data, ora efectuării încercării; natura încercării; identificarea componentei (denumire, serie, număr etc.); apartenența componentei (ansamblul, subansamblul); istoria funcționării echipamentului (poziția în ciclu de viață); regimul de funcționare; tip de defectare sistematic relevant etc.); cauza defecțiunii; efectul defecțiunii; acțiuni corective pentru continuarea încercării; diagnoza și tipul de reparare (exprimat în procente din total timp oprire); referințe la defecțiunile anterioare de același tip; acțiuni corective pentru prevenirea producerii de noi defecțiuni.

3. **Producția.** Programul de fiabilitate trebuie să cuprindă proceduri ce trebuie să fie urmate în producția echipamentelor. Procedurile includ acele faze de control care trebuie aplicate în producția echipamentelor și afectează fiabilitatea produselor. Eșantioane de acceptare relevante vor fi precizate pentru verificarea calității produsului. Terminologia și metodele de clasificare a defectelor, analiza și modul de raportare a defectelor vor face parte din programul de fiabilitate.

Încercările pe faze ale procesului tehnologic vor ține seama de: încercările pe componente; costul remanierilor și deșeurilor la fiecare

Scanned with OKEN Scanner

fază a procesului tehnologic; procesele implicate în fiecare fază a procesului tehnologic; nivelurile de solicitări; durata aplicării acestor solicitări.

Specificațiile pentru încercările produsului final vor ține seama de: dimensiunea eșantionului și procedura de selecție a acestuia; detalii ale nivelului de solicitări și ale condițiilor de mediu; tipul încercării, durata, criterii de acceptare și niveluri de încredere; parametrii de controlat; proceduri de întreținere (corective, preventive); definirea unor defecte speciale.

4. **Punerea în funcțiune.** În această fază, programul de fiabilitate trebuie să asigure identificarea eventualelor degradări ale fiabilității, din faza de producție, proceduri și instrucțiuni pentru conducerea testelor de acceptare, verificare a conformității cu prevederile proiectului.

Programele de încercări vor conține proceduri de descriere și control al anumitor zone, cerințe de calibrare, ajustări necesare.

Înregistrarea defectelor va furniza sùficiente date pentru analiza defectelor ce vor fi raportate proiectantului pentru îmbunătățiri.

5. **Exploatarea.** În această fază, culegerea datelor, analizarea lor și feedback-ul trebuie să fie continuate și urmate de reproiectare și modificări, dacă creșterea în continuare a fiabilității este cerută.

Întreținerea echipamentului trebuie să fie bazată pe caracteristicile de fiabilitate ale fiecărei componente.

Specificația. Înainte de începerea încercărilor de fiabilitate, acestea trebuie specificate într-un formular. Conținutul acestuia poate să reflecte, în principal, necesitățile beneficiarului și ale producătorilor.

Elementele esențiale ale unui astfel de document se referă la: funcția componentei; criterii de defectare ale componentei; fiabilitate caracteristică (*MTBF, MTR* etc.) adaptată circumstanțelor; distribuția defectelor în timp; timpul și condițiile în care se determină; mijloacele prin care asigurarea fiabilității poate fi atinsă.

Alte elemente conținute de specificațiile de fiabilitate ale unui echipament se referă la: condițiile de mediu (temperaturi, presiuni, umidități, utilizare în exterior, șocuri și vibrații, mediul chimic, electromagnetic, biologic etc.); condiții de solicitare (natura și direcția sarcinilor aplicate); durata de viață (dată în condiții în care întreținerea se realizează la durate specificate de timp); durata de funcționare; protecția produsului, pe durata de viață, contra greșelilor de operare; întreținerea (cerințe și proceduri specificate de beneficiar, perioade de întreruperi etc.); durata de depozitare (maximă) și mijloacele de protecție în acest interval; încercările producătorului pentru asigurarea fiabilității produsului; încercările beneficiarului pentru acceptarea sau selecționarea produsului.

Evaluare. Evaluarea fiabilității este procesul în care o valoare cantitativă este asociată fiabilității. Evaluarea este cerută în unul din următoarele cazuri:

— în stabilirea fiabilității cerute pentru o componentă;

— în prevederea fiabilității componentelor aflate încă în etape incipiente ale ciclului de viață (proiectare etc.);

— în stabilirea dacă o componentă aflată în exploatare satisface fiabilitatea cerută.

Metodele de evaluare a fiabilității variază enorm, ca tehnică utilizată. O metodă pentru evaluarea fiabilității previzionale a unui echipa-

Scanned with OKEN Scanner

ment este determinarea fiabilității pentru fiecare componentă și combinarea lor printr-un model matematic. Modelul matematic poate include: caracteristicile de defectare și reparații pentru componente; aranjamente serie-paralel ale componentelor; reparațiile parțiale sau ale tuturor componentelor.

Prevederea fiabilității cu ajutorul modelului este legată de selecționarea opțiunilor de proiectare. Datele folosite pentru fiabilitate previzionară pot fi adunate din două surse: date de la experimentarea componentelor identice; date de la componentele cu funcțiuni comparabile.

Fiabilitatea operațională trebuie să arate că respectiva componentă are caracteristici ce îndeplinesc anumite cerințe. Programele de testare pot fi de mai multe tipuri: tip Bernoulli — încercarea se sfîrșește cînd o condiție predeterminată este realizată sau defecțiunea apare; încercarea se bazează pe o valoare acceptată a fiabilității, care, dacă este atinsă, echipamentul este acceptat sau respins; încercările accelerate care au drept scop să provoace defecțiunea mai repede decît dacă componenta ar fi fost testată în condiții normale.

Organizare, analiză, interpretare. Mijloace sistematice de colectare, înregistrare, analiză și interpretare a datelor de fiabilitate trebuie să fie organizată în unitatea respectivă. Se organizează o bancă de date care stochează și exploatează datele legate de fiabilitate.

Sistemul de înregistrare se va referi la: specificarea și descrierea componentei (loc, natură, proiect, dimensiune, configurație etc.); istoria funcționării, date de instalare, regimul de întreținere, calibrări, încercări; istoria defecțiunilor, cauze, consecințe, timp de reparații etc.

Pentru înregistrarea acestor date se utilizează formulare tipizate, care au în vedere utilizarea tehnicii de calcul.

Scanned with OKEN Scanner

Scanned with OKEN Scanner

VI

ACTUALITĂȚI ȘI INFORMAȚII TEHNICO-ȘTIINȚIFICE

18.
A 11-a Conferință Republicană de Turnătorie

Dr. ing. *Constantin Cosneanu*
I.C.S.I.T.P.S.C.M. — București

În zilele de 10—11 mai 1989 a avut loc la Galați, în localul Universității, cea de a 11-a Conferință Republicană de Turnătorie, care a reunit peste 500 specialiști din 85 intreprinderi, institute de cercetare-proiectare și institute de învățămînt superior.

Deschiderea acestei importante reuniuni tehnico-științifice a avut loc în localul Casei de Cultură a Sindicatelor din Galați, urmată de prezentarea a șase comunicări în plenul conferinței ce tratau cîteva dintre cele mai importante probleme care preocupă specialiștii din industria de turnătorie din R. S. România. De altfel, deviza sub care s-au desfășurat lucrările conferinței se referea la reducerea consumurilor energetice, modernizare și eficiență economică în producția de piese turnate.

Lucrările din plenul conferinței s-au referit la orientarea fabricației de piese turnate pe plan mondial (prof. dr. ing. L. Sofroni — Institutul Politehnic București), diminuarea consumurilor tehnologice și generale de energie din turnătorii (dr. ing. C. Cosneanu — ICSITPSCM), stadiul actual și perspectivele fabricației echipamentelor, instalațiilor și utilajelor de turnătorie în R. S. România (ing. S. Chiorean — ICSITPSCM), modernizarea turnătoriilor din R. S. România, o importantă etapă în dezvoltarea producției de piese turnate (ing. M. Tudosie — ICSITPSCM) și analiza critică a unor aspecte energetice din turnătoriile de fontă (ing. I. Știrbulescu, ing. G. Indre — Î.D.E. București).

Lucrările Conferinței s-au desfășurat în continuare pe *trei secții* de specialitate: 1) Elaborarea și turnarea aliajelor-tratamente în stare lichidă (președinte prof. dr. ing. T. Dumitrescu — Universitatea Galați); 2) Materii prime și amestecuri de formare (președinte, prof. dr. ing. Gh. Zirbo — Institutul Politehnic Cluj-Napoca); 3) Proiectare tehnologii, instalații, utilaje și secții de turnătorie (președinte, ing. S. Chiorean — ICSITPSCM).

In cadrul primei secții au fost prezentate 49 comunicări științifice, dintre care unele au prezentat interes deosebit atît prin conținutul lor, cît și prin soluțiile propuse de autori.

Astfel, lucrările realizate sub conducerea științifică a prof. dr. doc. ing. Oprea Florea de la Universitatea din Galați privitor la fabricația elicelor navale din oțeluri înalt aliate cu mangan și aluminiu și obținerea unor acoperiri protectoare ale formei metalice au trezit un interes deosebit, iar discuțiile purtate pe marginea lor au subliniat importanța economică deosebită a acestora.

Scanned with OKEN Scanner

Lucrarea prezentată de Prof. dr. doc. ing. I. Tripșa de la I. P. București privitor la influența *căptușelii refractare a oalei de turnare* asupra *calității oțelurilor* a fost deosebit de interesantă iar sublinierea făcută de autor privitor la utilitatea folosirii maselor refractare dolomitice la căptușirea oalelor de turnare prezintă un interes tehnico-economic deosebit.

Un alt grupaj de lucrări au tratat *folosirea calculatorului* electronic pentru: conducerea dozării încărcăturilor metalice și elaborarea fontelor cenușii (ing. S. Chiorean și ing. C. Vincenz — ICSITPSCM), elaborarea oțelului în cuptorul electric cu arc (Prof. dr. ing. Gh. Zirbo și colectivul de la I. P. Cluj-Napoca), stabilirea cauzelor apariției segregației de tip „A" în piesele mari turnate din oțel (Prof. dr. ing. L. Sofroni, dr. ing. C. Bratu de la Institutul Politehnic București și ing. O. Bogdan de la Întreprinderea de Mașini Electrice București), calculul transferului de căldură nestaționar la piese turnate din Fgn (dr. ing. L. Marton și colectivul de la Întreprinderea Mecanică Gheorgheni) și optimizarea calculului încărcăturii șarjelor din oțel turnat înalt aliat (ing. Gh. Nițu și colectivul de la Centrala Industriei Chimice Turnu-Măgurele). Toate aceste lucrări, de înaltă ținută științifică, au subliniat utilitatea accelerării la maximum a implementării calculatoarelor în industria de turnătorie din țara noastră în colectivele de tehnologi care se ocupă de problemele de concepție, cît și în secțiile de fabricație a pieselor turnate.

Tot o problemă prioritară o reprezintă *filtrarea aliajelor* de aluminiu (ing. Claudia Cosneanu și colectivul ICSITPSCM) și a oțelurilor (dr. ing. V. Brabie și colectivul de la Institutul Politehnic București), care în viitorul apropiat va permite îmbunătățirea sensibilă a calității pieselor turnate.

În domeniul turnării pieselor din fontă sînt relevante lucrările privitoare la realizarea segmenților de piston pentru motoarele diesel (ing. Sora, T. și colectivul — I.C.M. Reșița și ing. Chiricuță și colectivul de la ICSITPSCM), a arborilor cotiți din fontă cu grafit nodular bainito-austenitice pentru motoare diesel (dr. ing. I. Riposan și colectivul de la Institutul Politehnic București, ing. Z. Demeny împreună cu colectivul de la Întreprinderea de Autocamioane Brașov și I.C.S.I.T.A. Pitești), turnarea pieselor puternic solicitate în exploatare la uzare, din fonte cenușii cu masă metalică de bază bainitică obținută direct din turnare sau prin tratament termic izoterm (Conf. dr. ing. C. Dumitrescu și colectivul de la Institutul Politehnic București, ing. C. Copeschi și colectivul de la Institutul Național de Motoare Termice București), turnarea corpurilor de măcinare din fonte cu grafit modificat (Conf. dr. ing. C. Dumitrescu de la Institutul Politehnic București, dr. ing. Gh. Albița de la I.C.P.U.P.S. București și ing. C. Velișcu și colectivul de la I.U.P.S.R. Iași) ș.a.

Pentru elaborarea forțelor de înaltă calitate în cuptoare electrice de inducție cu consumuri energetice reduse (ing. P. Decean — I. M. Alba Iulia) precum și în cubilouri fără cocs (ing. L. Dinescu și colectivul de la ICSITPSCM — București) au fost jalonate posibilitățile practice de reducere a consumurilor specifice de energie tehnologică, astfel ca pînă la sfîrșitul acestui cincinal majoritatea turnătoriilor să se încadreze în cotele de energie alocate.

În domeniul pieselor și lingourilor turnate din oțel sînt util de subliniat lucrările ce vizează tratarea în stare lichidă a acestora prin injecție de pulberi reactive (dr. ing. V. Brabie și colectivul de la Institutul Politehnic București, împreună cu ing. I. Andrei și colectivul de la

Scanned with OKEN Scanner

Întreprinderea „1 Mai" Ploiești), elaborarea și turnarea lingourilor cave din oțel (dr. ing. G. Pop și colectivul de la CCSITUMP Iași), insuflarea de pulberi în baia de oțel (ing. M. Marinescu, ing. G. Radu și colectivul de la ICSITPSCM), studii autoradiografice privitor la influența calității maselotelor exoterme asupra solidificării lingourilor mici din oțel rapid (fiz. V. Păsărică de la I.C.E.M. — București și ing. I. Moiceanu și colectivul de la Combinatul de Oțeluri Speciale Tîrgoviște) și a lingourilor de oțel pentru bandaje (fiz. V. Păsărică — I.C.E.M. București și ing. V. Demetrescu și colectivul de la C.S. Reșița) ș.a.

În cadrul acestei secții au participat la lucrări circa 200 de specialiști, care au pus peste 100 de întrebări autorilor, iar circa 80 participanți au făcut comentarii pe marginea discuțiilor purtate.

În *cea de a doua secție* au fost prezentate 25 comunicări, care au reflectat marile mutații care au loc în prezent în turnătoriile din țara noastră în domeniul lianților și procedeelor de formare-miezuire.

Înlocuirea lianților rășinilor sintetice cu autoîntărire la rece (rășini furanice și fenolice) cu amestecuri liate *cu monofosfat de aluminiu* și un *catalizator* sub formă de pulbere care reprezintă un oxid al unui metal (de exemplu oxid de magneziu) a prezentat un interes deosebit deoarece marile investiții făcute în acest domeniu trebuie valorificate în continuare prin producerea de piese turnate din fontă și oțel de înaltă calitate (ing. I. Chiricuță și colectivul de la ICSITPSCM — București).

În domeniul amestecurilor de formare la crud utilizate pe linii mecanizate și automatizate, care se vor folosi în cea mai mare măsură cel puțin pînă la sfîrșitul acestui mileniu, se va trece treptat la dirijarea acestora cu ajutorul calculatorului (ing. L. Năstac, dr. ing. C-tin Cosneanu — ICSITPSCM București).

Eforturile cercetătorilor au fost extinse și în domeniul *bazelor teoretice* ale proceselor de turnare, unde pentru determinarea cîmpului de temperatură în formă în vederea precizării cantităților de lianți anorganici degradați, precum și pentru confecționarea formelor metalice nepermanente din materiale granulare s-a utilizat *tehnica de calcul* (Prof. dr. ing. G. Zirbo și colectivul de la Institutul Politehnic Cluj-Napoca).

De asemenea, sînt utile lucrările referitoare la proprietățile termofizice ale formelor protejate cu vopsele de impregnare (ing. S. Cocolaș și colectivul de la I.P. București), interacțiunea metal—formă (dr. ing. Teodora Sabău I.P. București), proiectarea asistată de calculator a utilajului de turnare a lingourilor (ing. O. Bogdan de la I.M.G. București și dr. ing. C. Bratu — I.P. București), folosirea energiei microundelor la uscarea și întărirea miezurilor de turnătorie (ing. N. Miu și colectivul de la C.U.G. Cluj-Napoca, Prof. dr. ing. G. Zirbo și colectivul de la I.P. Cluj-Napoca și ing. I. Chiricuță cu colectivul de la ICSTPSCM — București), regenerarea nisipurilor uzate rezultate din turnătorie (dr. ing. C-tin Cosneanu — ICSITPSCM, dr. ing. C-tin Cernat — I.P.B. și ing. I. Andrei, ing. A. Bogățoiu de la Î. „1 Mai" Ploiești), antideponenți pentru suspensii apoase de vopsele refractare pentru protecția miezurilor și formelor (chim. Katona, N. și colectivul de la I.C.P.M.S.N. Cluj-Napoca și dr. ing. C. Cosneanu — ICSITPSCM București), noi tipuri de lianți organici cu autoîntărire la rece (ing. F. Drăgoi și colectivul de la ICSITPSCM — București), tehnologie de uscare cu puțină energie a formelor și miezurilor (dr. ing. A. Nicolae — Institutul Politehnic București), reducerea consumului specific de liant la turnarea de precizie (ing. A. Fülöp,

Scanned with OKEN Scanner

CCSITMIU — Filiala Tîrgu-Mureș), turnarea titanului în forme coji din grafit (ing. I. Stanciu — I.M.R.A. București) ș.a.

În cadrul secției la lucrări au participat circa 150 de specialiști, care au pus peste 80 întrebări autorilor comunicărilor iar circa 40 participanți au făcut comentarii pe marginea discuțiilor purtate.

În cadrul celei de *a treia secții* au fost prezentate 46 de comunicări științifice, care au suscitat un viu interes celor peste 200 participanți.

Dintre lucrările prezentate subliniem metoda universală de calcul a maselotelor cu ajutorul calculatorului electronic (dr. ing. C. Bratu — I.P.B. și ing. O. Bogdan — I.M.G.B.), posibilități de reducere a maselotajului la piesele turnate din oțel utilizînd miezuri exoterme înglobate în maselotă (ing. M. Boghici și colectivul I.A. Brașov), folosirea maselotelor sferice la turnarea corpurilor de armături (ing. M. Iordache — Î.U.P. Tîrgoviște), proiectarea asistată de calculator (CAD) în scopul reducerii consumului de metal (ing. A. Fenești — U.R.U.M.F. Alba Iulia), optimizarea dimensionării rețelelor de turnare pentru piese din fontă de dimensiuni mici și studiul curgerii aliajelor prin rețele de turnare cu alimentare prin maselotă (ing. dr. I. Ciobanu — Universitatea Brașov și ing. A. Calotă — I.P.T. Cîmpina), turnarea carcaselor pentru motoare electrice (ing. N. Zaharia — ICSIT MTAE Craiova și ing. D. Moreanu — I.P.T. Băilești), rețea de alimentare și elemente modulate utilizate la turnarea sub presiune (ing. O. Rus — I.M. Bistrița) ș.a.

Dintre tehnologiile de proces competitive pe plan mondial sînt util de semnalat lucrările care se referă la dezbaterea, detașarea și detensionarea prin vibrații cu frecvență reglabilă a pieselor din ciorchini turnați în cruste ceramice (ing. S. Chiorean — ICSITPSCM), modificarea fontelor în autoclavă cu magneziu metalic (dr. ing. C-tin Cosneanu și colectivul de la ICSITPSCM), procedeu și instalație de turnare centrifugă a cilindrilor de laminor mari și foarte mari din fontă de crustă dură (dr. ing. C-tin Cosneanu, ICSITPSCM, ing. O. Belzo — CCSITUMP Iași, dr. ing. F. Schönberger — C.U.G. Iași), obținerea pieselor cilindrice profilate, prin turnare centrifugă (ing. V. Jiman — Universitatea Brașov), turnarea centrifugă a semifabricatelor tubulare cu pereți groși (ing. N. Iancău și colectivul de la I.M. Aiud și ing. M. Constantin — I.C.E.M.), turnarea centrifugă a serpentinelor de reacție pentru sulfura de carbon (Conf. dr. ing. V. Grosu și colectivul — Universitatea Galați), turnarea centrifugă a tuburilor radiante din oțel refractar (ing. I. Ștefănescu — I.U.C. Făgăraș), turnarea în cochilă a pieselor din fontă cu grafit nodular (ing. K. Kapuși — I.U.M. Satu-Mare), cementarea la turnare a pieselor de oțel (dr. ing. Gh. Pop și colectivul CCSITUMP Iași), utilizarea în turnătorie a pompelor magneto-dinamice (ing. M. Șerban — ICSITPSCM) ș.a.

La Conferința Republicană de Turnătorie s-a scos în evidență, prin lucrările prezentate, necesitatea concentrării eforturilor colective pe extinderea mecanizării și automatizării în sectoarele de activitate din turnătorii și cu prioritate absolută în sectoarele de preparare a amestecurilor de formare-miezuire și curățitorii, extinderea aplicării tehnicii de calcul în proiectarea tehnologică, conducerea proceselor de topire și preparare a amestecurilor de formare-miezuire în scopul reducerii consumurilor energetice și materiale, creșterea avansată a preocupărilor specialiștilor pentru îmbunătățirea radicală a microclimatului din turnătorii și de protecție a mediului ambiant prin promovarea procedeelor moderne de turnare centrifugă, turnare în vid, turnare în cîmp magnetic, turnare în forme metalice ș.a.

Scanned with OKEN Scanner

Modernizarea turnătoriilor va trebui să includă cu prioritate schimbarea concepției specialiștilor în direcția promovării celor mai noi cuceriri ale științei și tehnicii mondiale prin aplicarea cu îndrăzneală a procedeelor și tehnicilor moderne în turnătorie, caracterizate prin automatizare avansată, productivitate ridicată și eficiență economică, în condițiile asigurării unui microclimat care să atragă forța de muncă spre această importantă ramură a industriei constructoare de mașini. Pornind de la necesitatea că acțiunea de modernizare trebuie făcută cu cadre și specialiști cu o concepție avansată și grad de informare ridicat (pentru a se asigura cu certitudine satisfacerea obiectivelor propuse) există convingerea că perfecționarea acestora prin multiple mijloace cunoscute are o importantă hotărîtoare. De aceea, Comisia de Turnătorie din cadrul CNIT, împreună cu ICSITPSCM și cu institutele de învățămînt superior va continua în ritm susținut realizarea transferului de informații între specialiști prin noi întîlniri profesionale cu teme date, specializări, elaborarea, cu sprijinul Editurii Tehnice, de lucrări, de o deosebită importanță practică și teoretică.

Participanții la această importantă reuniune tehnico-științifică, dintre care peste 60% au reprezentat-o tinerii ingineri și tehnicieni din industria de turnătorie a țării noastre, au plecat spre locurile lor de muncă cu convingerea că avem foarte multe lucruri de făcut în acest domeniu, pentru a ridica nivelul activităților colective la exigențele solicitate de actuala etapă de dezvoltare a țării noastre.

Scanned with OKEN Scanner

19.
Scurte informații tehnice*

Compania „Honda“ (Japonia) a elaborat un sistem flexibil de fabricație care permite creșterea gradului de automatizare a montajului de autoturisme pînă la 80%. Noul sistem permite operații speciale de fixare și montare a instalației electrice a unuia sau mai multor tipuri de autoturisme.

Sistemul japonez se remarcă printr-un grad ridicat de integrare a operațiilor de montaj: 50, în total, în loc de 150.

În anul 1989, acest tip de sistem flexibil de fabricație urma să fie pus în exploatare în întreprinderile din districtul Saittama și în statul Ohio (S.U.A.). Suprafața ocupată de noul sistem este de două ori mai mică decît cea ocupată de liniile de montaj utilizate anterior, fără reducerea vitezei de montaj (sistemul similar, instalat în 1987 într-o întreprindere din districtul Mie, prevede montajul a 400 autoturisme pe zi).

Pentru următorii trei ani, compania estimează creșterea de trei ori a eficienței producției, prin utilizarea noului sistem flexibil de fabricație și perfecționarea tehnologiei proceselor de producție. (Problemî maşinostroenia i avtomatizații, nr. 19, 1988).

*
* *

Compania japoneză Toshiba Fuchu a elaborat un sistem flexibil automatizat de fabricație, sub denumirea de KIKAI FAPS, care, după declarațiile firmei, prezintă cea mai mare flexibilitate din lume. Sistemul a fost calculat pentru 3 000 tipuri de piese și este format din 2 magistrale pentru 2 *n* cărucioare automate, 6 centre de prelucrare, dintre care 3 verticale și 3 orizontale, 9 strunguri cu comandă numerică, depozit automatizat, dispozitiv automat de fixare, încăpere pentru reglarea sculelor, robot de încărcare, încăpere centrală de comandă.

Centrele de prelucrare orizontale sînt echipate cu dispozitive automate de înlocuire a paletelor, produse de aceeași firmă, care au rolul, nu numai de apucare a paletelor cu semifabricate și sculă, ci și de depozitare intermediară a semifabricatelor. Pentru fixarea paletelor folosind dispozitivele cu comandă numerică, compania utilizează o metodă specială — magneți pe masa de lucru. Astfel, se reduce timpul destinat operațiilor de încărcare, descărcare, dimensiunile și greutatea paletelor.

---

* Grupaj de informații tehnice realizat prin traduceri selectate și prelucrate din diferite reviste de Daniela Asvadurov și Oleg Crămărăscu.

Scanned with OKEN Scanner

Una din problemele principale pentru sistemul FAPS o reprezintă înlăturarea șpanului. În acest sistem, șpanul este automat colectat și evacuat în depozitul din exteriorul uzinei. Pentru deservirea sistemului FAPS este nevoie de 7 muncitori, dintre care, în timpul zilei, de 4, iar, în schimbul de noapte, de 3. Productivitatea sistemului este de 10 ori mai mare decît în cazul celui tradițional. (Problemî maşinostroenia i avtomatizații, nr. 19, 1988)

* * *

Specialiștii din Moscova au elaborat o nouă tehnologie de acoperire cu diamant a sculelor. Acoperirea se realizează prin procedeul electrochimic, folosind ca electrolit o soluție sulfatosilicofluorurată caldă în care se află pulberea ultradispersă din cristale sintetice de diamant. Astfel se obține o acoperire robustă și continuă cu grosimea de 2—30 μm pe suprafața de lucru a sculelor din oțel. Prin aceasta matrițele pentru metalurgia pulberilor capătă o durată de funcționare de 10 ori mai mare. (Tehnika molodeji, U.R.S.S., nr. 10, 1988).

* * *

Firma „Arbed" (Luxemburg) a elaborat oțelurile „Fritenar" și „Krytenar", speciale pentru instalațiile de foraj plutitoare. Sînt oțeluri cu granulație fină, dezoxidate cu aluminiu, cu o înaltă rezistență și o bună vîscozitate la temperaturi scăzute. Limita de curgere 470—600 MPa, rezilienta la încercarea longitudinală Sharpy V a epruvetelor la —20 și —50°C (pentru oțelul „Krytenar") este de minimum 65 J și, respectiv, 43 J, la cea transversală — 47 J și 32 J. Echivalentul de carbon redus (0,34—0,40%) asigură o bună sudabilitate a pieselor din oțel. (Sudostroenie, U.R.S.S., nr. 7, 1988).

* * *

Procesul FIRAM, elaborat de specialiștii sovietici, constă în purificarea metalului lichid la turnare prin intermediul filtrelor din fibre de sticlă, plasate direct în rețeaua de turnare. Concomitent, în metalul de turnare se amortizează turbioanele, curentul devine laminar, se mărește omogenitatea structurii metalului, el se solidifică mai repede. Prin acest procedeu se toarnă atît piese mici, cît și mari, din fontă și aluminiu. (Tehnika molodeji, U.R.S.S., nr. 12, 1988).

TCMM

Seria de lucrări TCMM, cu caracter de instruire, informare și documentare pentru un cerc larg de lucrători din principalele ramuri industriale ale economiei naționale, este editată anual în 2–3 volume cu circa 300 pagini fiecare, avînd prețul antecalculat de ≈30 lei/volum.

În anul 1989 a fost prevăzută apariția a două volume, în care sînt abordate tematici din mari domenii:

- modernizarea producției industriale;
- concepte și strategii în promovarea progresului tehnic;
- calitate, fiabilitate, mentenabilitate;
- mașini, utilaje, echipamente, aparatură, SDV-uri;
- tehnologii moderne și de mare eficiență economică;
- interdisciplinaritate, note tehnico-documentare;
- cataloage de produse industriale.

La această publicație, dată fiind importanța pe care o prezintă lucrările seriei pentru rezolvarea problemelor modernizării întreprinderilor și producției industriale, abordînd tematici în strînsă legătură cu aceasta, este necesară rezervarea din timp a unor volume (fără avansarea prealabilă de fonduri bănești). Pentru aceasta trebuie să trimiteți din timp (cu cîteva luni înainte de apariția volumului respectiv) comenzile dv. cu caracter ferm (cu indicarea contului de virament pentru întreprinderi, institute de cercetare și proiectare, șantiere și instituții, respectiv adresa exactă, pentru cititori) Centrelor de Librării, județene sau orășenești, sau ale Cooperației de Consum din raza teritoriului în care activați. Plata se face prin rambursare la primirea exemplarelor comandate.

EDITURA TEHNICĂ

Serie continuă de **studii și cercetări aplicative, sinteze documentare, actualități și materiale informative** consacrate progresului tehnic contemporan din domeniile ingineriei tehnologice, promovării noilor tehnologii, calității produselor, materialelor, mașinilor, utilajelor, echipamentelor, aparaturii și SDV-urilor.

6

ISBN 973-31-0191-5

Lei 20,50

Scanned with OKEN Scanner